



**ANA CARINA DA  
SILVA PEREIRA**

**DESIGN E INOVAÇÃO: MADEIRA, SUBSTITUIÇÃO  
DE MATERIAIS**



**ANA CARINA DA  
SILVA PEREIRA**

**DESIGN E INOVAÇÃO: MADEIRA, SUBSTITUIÇÃO  
DE MATERIAIS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Design, Materiais e Gestão do Produto, realizada sob a orientação científica do Dr. Jorge de Carvalho Alves, Professor Catedrático do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo incansável apoio, motivação, financiamento, e dedicação à minha educação desde pequenina, e que desta forma me presentearam com uma riqueza ímpar, o desejo de conhecer.

## **o júri**

presidente

**Prof. Dr. Vasco Afonso da Silva Branco**  
Professor Associado da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Jorge de Carvalho Alves**  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Bruno Miguel Quelhas de Sacadura Cabral Trindade**  
Professor Associado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

## **agradecimentos**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Alves, pela dedicação, disponibilidade, sugestões, e paciência.

Aos diversos Professores que me inspiraram ao longo da minha formação.

Aos colegas de mestrado, pelo companheirismo, alegrias, apoio, incentivo, partilha de ideias, e de conhecimento.

Aos amigos e familiares, pela alegria, motivação, inspiração, e os muitos sorrisos.

Aos meus pais e irmão, pelo amor, carinho, e apoio incondicional.

## **palavras-chave**

Design, inovação, madeira, substituição, materiais, tecnologias, sustentabilidade.

## **resumo**

A madeira foi amplamente substituída por outros materiais, entre os quais os metais, betão e plásticos. Atendendo a que a madeira é renovável, investiga-se o potencial de utilização desta em substituição de outros materiais. Identificou-se que a escassez foi o principal factor a influenciar a substituição da madeira, e que para o efeito, contribuíram também algumas propriedades do material e ideologias. Entre os diversos factores que influenciam a inovação e substituição de materiais, apurou-se, que da legislação e aspectos sócio-culturais podem surgir barreiras, e que as questões ambientais constituem uma oportunidade de mudança. Comparativamente com os outros materiais, a madeira é uma alternativa sustentável; os materiais e tecnologias da madeira disponíveis actualmente permitem aplicações eficientes; e, as suas qualidades estéticas e culturais são apreciadas. Portanto, conclui-se que existe potencial em utilizar a madeira em substituição de outros materiais.

**keywords**

Design, innovation, wood, substitution, materials, technologies, sustainability.

**abstract**

Wood has been largely replaced by other materials, such as metals, concrete and plastics. Considering that wood is renewable, the potential to use it in substitution of other materials is researched.

It has been identified that scarcity was the main factor influencing wood substitution, and that some properties of the material and ideologies have also contributed to this replacement.

Among several factors that influence materials innovation and substitution, legislation and social-cultural aspects are possible barriers, and environmental issues constitute an opportunity for change.

In comparison with other materials, wood is a sustainable alternative; today, available wood materials and technologies allow efficient applications; and its aesthetic and cultural qualities are appreciated.

Therefore, it is concluded that there is potential in using wood in substitution of other materials.

## Índice

Índice .....	1
Índice de figuras .....	4
1 Introdução .....	6
1.1 Definição do problema .....	6
1.2 Questões de investigação .....	6
1.3 Metodologia .....	7
1.4 Organização do trabalho .....	7
2 Design e materiais – substituição da madeira .....	9
2.1 Os materiais da Antiguidade à Revolução Industrial .....	10
2.1.1 A utilização de madeira na antiguidade .....	10
2.1.2 Os primeiros materiais .....	11
2.1.3 Escassez de madeira nas 1as civilizações .....	14
2.1.4 A descoberta do ferro .....	15
2.1.5 A madeira na Grécia e em Roma .....	17
2.1.6 Da madeira ao coque – Inglaterra antes da Revolução Industrial .....	19
2.1.7 A pérola do Atlântico .....	22
2.2 Revolução Industrial – a proliferação dos “novos” materiais .....	23
2.2.1 Revolução Industrial – substituição da madeira .....	23
2.2.2 Os “novos” materiais .....	26
2.2.3 A substituição da madeira na aviação .....	31
2.2.4 Ideologia e selecção de materiais .....	33
2.3 Materiais Plásticos .....	40
2.3.1 A emergência dos plásticos .....	40
2.3.2 Caracterização geral e propriedades dos plásticos .....	41
2.3.3 Estética e significados dos plásticos .....	44
2.3.4 Plásticos e ambiente .....	45
2.4 Materiais Compósitos .....	46
2.4.1 Compósitos – Antiguidade .....	46
2.4.2 Compósitos – caracterização e aplicações .....	47
2.4.3 Compósitos e complexidade – ao encontro da natureza .....	48
2.4.4 Compósitos e ambiente .....	51
2.5 Conclusão .....	54
3 Materiais e inovação – substituição, competitividade e difusão .....	56
3.1 Materiais e Inovação .....	56
3.1.1 A revolução dos materiais .....	56
3.1.2 Inovação .....	60



3.1.3	O processo de inovação nos materiais.....	65
3.1.4	Adopção e difusão da inovação.....	70
3.2	Substituição dos metais.....	73
3.2.1	Introdução à substituição.....	73
3.2.2	Desenvolvimento de materiais substitutos.....	74
3.2.3	O automóvel.....	75
3.2.4	Aviação e leveza.....	78
3.2.5	Contra-ataque dos metais.....	81
3.3	Factores que influenciam a inovação.....	82
3.3.1	Barreiras e incentivos à inovação.....	82
3.3.2	Legislação ambiental – oportunidade para inovar.....	89
3.3.3	Design de materiais.....	90
3.4	Conclusão.....	91
4	Materiais e ambiente – desempenho ambiental da madeira.....	92
4.1	Consumo de materiais e sustentabilidade.....	93
4.1.1	Consumo de materiais.....	93
4.1.2	Limites ao impacto ambiental.....	97
4.1.3	Materiais e sustentabilidade.....	98
4.2	Desempenho ambiental da madeira.....	100
4.2.1	Florestas.....	100
4.2.2	Carbono.....	104
4.2.3	Substituição – estudos comparativos.....	110
4.2.4	Utilização sustentável da madeira.....	117
4.3	Percepção ambiental da madeira.....	118
4.3.1	Florestas.....	118
4.3.2	Produtos de madeira.....	120
4.4	Conclusão.....	121
5	Materiais e tecnologias da madeira.....	122
5.1	Propriedades da madeira.....	122
5.1.1	Caracterização geral.....	122
5.1.2	Madeira e fogo.....	124
5.1.3	Modificação da madeira.....	125
5.2	Materiais derivados da madeira.....	126
5.2.1	Painéis.....	127
5.2.2	Vigas de madeira laminada colada.....	128
5.2.3	Soluções compósitas estruturais.....	131
5.3	Compósitos.....	133
5.3.1	Compósitos de madeira e materiais inorgânicos.....	133
5.3.2	Compósitos de madeira e materiais poliméricos.....	136

5.4	Investigação e tecnologias da madeira .....	140
5.5	Conclusão.....	141
6	Estética e significados da madeira .....	142
7	Conclusão .....	146
	Bibliografia.....	148

## Índice de figuras

Figura 1 – Casa de banho com madeira, 1895, Forty, 1986, p.166. ....	35
Figura 2 – Casa de banho sem madeira, 1911, Forty, 1986, p.167. ....	35
Figura 3 – Esquerda: o frigorífico Leonard, 1929; Direita: o frigorífico Sears Roebuck Coldspot, design de Raymond Loewy, 1935, Forty, 1986, p.156. ....	36
Figura 4 – As principais trajectórias tecnológicas das empresas, Tidd et al., 2001, p.118. ....	60
Figura 5 – As dimensões do espaço de inovação, Tidd et al., 2001, p.8. ....	61
Figura 6 – A maturidade tecnológica e do mercado determina o processo de marketing, Tidd et al., 2001, p.174. ....	62
Figura 7 – Mapa de transiliência de Abernathy e Clark (1985), Maine et al., 2005, p.20. ....	63
Figura 8 – As cinco gerações dos modelos de inovação, segundo Rothwell, Tidd et al., 2001, p.43. ....	64
Figura 9 – As dinâmicas da inovação, modelo de Abernathy e Utterback (1978), Utterback, 1994, p.xvii. ....	67
Figura 10 – Padrões de inovação para produtos e subprodutos, Utterback, 1994, p.130. ....	69
Figura 11 – Evolução do consumo de um material, Ashby e Johnson, 2002, p.159. ....	70
Figura 12 – Desempenhos de um produto estabelecido e um invasor, Utterback, 1994, p.159. ....	71
Figura 13 – Melhoramento no produto estabelecido, Utterback, 1994, p.160. ....	71
Figura 14 – Dinâmica das influências relativas à substituição de materiais no sector automóvel, Janszen e Vloemans, 1997, p.555. ....	77
Figura 15 – Evolução dos materiais, Ashby e Johnson, 2002, p.176. ....	80
Figura 16 – Sensibilidade de diferentes indústrias ao custo dos materiais, Ashby e Johnson, 2002, p.160. ....	83
Figura 17 – Grupos de materiais e indicadores do impacto ambiental dos materiais, Sun et al., 2003, p.54. ....	116
Figura 18 – Elementos básicos de madeira utilizados em diversos materiais; do maior ao mais pequeno, Youngquist, 1999, p.2, baseado em Marra, 1979. ....	126
Figura 19 – Secção de modelo, pavilhão do Atlântico, Sinn, 2000, p.1. ....	130
Figura 20 – Pavilhão Atlântico, <a href="http://www.pavilhaoatlantico.pt">www.pavilhaoatlantico.pt</a> . ....	130
Figura 21 – Desenho do Scotia Place, Moore, 2000, p.2. ....	131
Figura 22 – EXPO-roof, cobertura de madeira, EXPO 2000, Hanover, Burger et al., 2000. ....	132
Figura 23 – Bloco compósito: partículas de madeira e cimento Portland, Moslemi, 1999, p.178. ....	134
Figura 24 – Formas obtidas com ecocerâmicos, Singh et al., 2003, p.253. ....	136
Figura 25 – Termoplásticos reforçados com enchimento lenho-celulósico, Youngquist, 1999, p.27. ....	137

Figura 26 – Efeitos da combinação de dois tratamentos, NaClO <sub>2</sub> e NaOH, nas propriedades mecânicas de madeira impregnada com resina, e comprimida; ○: sem tratamento, ●: tratada, Yano, 2001, p.1128. ....	138
Figura 27 – Micrografias obtidas por varrimento electrónico: <b>a</b> fibra elementar de polpa kraft; <b>b</b> microfibrilas de celulose (MFC). Barra de escala: 10 µm, Nakagaito e Yano, 2005, p.156. ....	138
Figura 28 – Curvas tensão-deformação de (A) compósito de MFC com um conteúdo de 6% de resina fenólica (PF) e comprimido a 100 MPa, (B) compósito de MFC com um conteúdo de 10% de resina fenólica (PF) e comprimido a 100 MPa, e (C) liga de magnésio AZ91, com tratamento T6, Nakagaito e Yano, 2005, p.158. ....	139
Figura 29 – Monitor e teclado em madeira, SWEDX, <a href="http://www.swedx.se">www.swedx.se</a> .....	145
Figura 30 – Acessórios de moda, W-LINE, Paolo Da Ponte, <a href="http://www.w-line.biz">www.w-line.biz</a> .....	145

# 1 Introdução

## 1.1 Definição do problema

A madeira é um material utilizado desde a antiguidade em diversas aplicações. No entanto, desde a revolução industrial, a madeira foi amplamente substituída pelos metais e betão. Durante o século XX, proliferou um outro conjunto de materiais, os plásticos, que substituíram não só a madeira, como também outros materiais.

Existem ainda elevados consumos de madeira, nomeadamente como combustível, papel, material de construção, e mobiliário. Ainda assim, considera-se que actualmente o seu âmbito de utilização é restrito, quando comparado com a multiplicidade de aplicações da madeira desde a antiguidade.

Durante o século XX surgiu um novo paradigma, o da sustentabilidade; atendendo a que dos principais materiais utilizados, a madeira é o único renovável, surgem as seguintes questões:

Que papel poderá a madeira desempenhar no futuro?

Poder-se-á antever um retorno a uma mais ampla utilização da madeira?

Surge então a finalidade desta investigação: a de compreender o potencial de utilização da madeira em substituição de outros materiais.

## 1.2 Questões de investigação

Deste problema emergem as seguintes questões de investigação:

*Porque que é que a madeira foi substituída? Que factores motivaram a sua substituição?*

*Que factores influenciam a inovação, substituição, competitividade e difusão dos materiais? Que barreiras e incentivos se identificam?*

*Como é que os materiais contribuem para os problemas ambientais? Como consumir os recursos materiais de forma sustentável?*

*A madeira é uma alternativa sustentável? A madeira é a melhor alternativa ambiental?*

*A madeira é percebida como a melhor alternativa ambiental?*

*Como se caracteriza a madeira actualmente? Qual o seu potencial técnico de aplicação?  
Que inovações se identificam, e que factores as motivaram?*

*Que qualidades estéticas se identificam na madeira?  
Que valores e significados são transportados por este material?*

Das questões colocadas, compreende-se que este trabalho tem um âmbito lato: por um lado, o discurso envolve referências do passado e do presente, com o intuito de estabelecer alguns percursos na evolução da utilização dos materiais, e de clarificar alguns desafios para o futuro; por outro lado, as questões suscitam a investigação e integração de diferentes áreas temáticas.

### **1.3 Metodologia**

A metodologia deste trabalho consiste na investigação e análise de diversos conteúdos bibliográficos.

### **1.4 Organização do trabalho**

Propõe-se a seguinte organização do trabalho:

No capítulo 2 caracteriza-se a utilização da madeira e de outros materiais desde a antiguidade; a exposição focaliza a madeira, e procura responder às seguintes questões:

*Porque é que a madeira foi substituída? Que factores motivaram a sua substituição?*

Quanto aos outros materiais, são registados alguns aspectos pertinentes no âmbito da evolução da sua utilização, bem como as suas principais características, e algumas inovações.

No 3º capítulo, apresenta-se uma exposição dos diversos factores que têm influenciado a utilização dos materiais, no passado recente e actualidade, através das seguintes questões:

*Que factores influenciam a inovação, substituição, competitividade e difusão dos materiais?*

*Que barreiras e incentivos se identificam?*

No ponto 4 são investigadas as questões ambientais: são expostos os principais problemas relacionados com o consumo de materiais; apresentam-se alguns critérios no âmbito do consumo sustentável destes recursos; caracteriza-se o desempenho ambiental da madeira, estabelecendo

algumas comparações com outros materiais; e, apresenta-se alguma informação no âmbito da sua percepção ambiental. Neste capítulo são investigadas as seguintes questões:

*Como é que os materiais contribuem para os problemas ambientais? Como consumir os recursos materiais de forma sustentável?*

*A madeira é uma alternativa sustentável? A madeira é a melhor alternativa ambiental?*

*A madeira é percebida como a melhor alternativa ambiental?*

No capítulo 5 apresenta-se uma caracterização do potencial tecnológico da madeira, de alguns dos materiais derivados desta, e compósitos em que este recurso é utilizado; de um modo geral são expostas as principais inovações destes materiais, e identificam-se alguns factores que as motivaram. A este ponto correspondem as seguintes questões de investigação:

*Como se caracteriza a madeira actualmente? Qual o seu potencial técnico de aplicação?*

*Que inovações se identificam, e que factores as motivaram?*

No capítulo 6 expõem-se algumas das qualidades estéticas da madeira, e significados transportados por este material; portanto, neste ponto são investigadas as seguintes questões:

*Que qualidades estéticas se identificam na madeira?*

*Que valores e significados são transportados por este material?*

## 2 Design e materiais – substituição da madeira

A madeira é um material amplamente utilizado desde a antiguidade:

Ashby e Johnson (2002) observam que a madeira tem sido utilizada em diversos produtos desde os primeiros tempos de que existe registo; os antigos egípcios usavam-na em mobiliário, escultura e caixões antes de 2500 a.C. Os gregos e os romanos, no auge dos seus impérios, em 700 a.C. e 0 d.C. respectivamente construíam barcos, carruagens e armas de madeira de forma elaborada, e estabeleceram o ofício do fabrico de mobiliário. Uma maior diversidade no seu uso surgiu nos tempos medievais, com a aplicação de madeira em edifícios de grandes dimensões, e em mecanismos diversos, sendo que, até ao final do século XVII, a madeira era o principal material de engenharia. Desde então, o ferro fundido, o aço, e o betão, substituíram a madeira em algumas aplicações, mas esta é ainda amplamente utilizada (Ashby e Johnson, 2002, pp.231-232).

Considera-se que actualmente o âmbito de utilização da madeira é muito restrito, quando comparado com a multiplicidade das suas aplicações desde a antiguidade. É certo que durante o percurso de evolução das civilizações diversos outros materiais surgiram, com propriedades e potencial de aplicação bem distintos da madeira; no entanto, ainda hoje, a madeira é caracterizada como um material que apresenta um conjunto de propriedades interessantes.

Segundo Ashby e Johnson, a madeira oferece uma combinação excepcional de propriedades: é leve; paralelamente ao sentido das fibras é resistente, por unidade de peso, tanto quanto qualquer outro material fabricado pelo Homem; tem baixo custo, é renovável e utiliza pouca energia; é facilmente trabalhada, e quando laminada, permite obter formas complexas; é esteticamente agradável, quente na cor e tacto, e transporta associações de artesanato e qualidade (Ashby e Johnson, 2002, p.232).

Neste contexto, procurar-se-á então compreender que factores contribuíram para a utilização de outros materiais em substituição da madeira, ou, porque é que a madeira não é actualmente mais utilizada? Propõem-se então as seguintes questões de investigação:

*Porque é que a madeira foi substituída? Que factores motivaram a sua substituição?*

Para responder a estas questões, optou-se por uma exposição cronológica e contextualizada; considera-se, que dada a multiplicidade de factores envolvidos, com uma orientação do discurso em função das questões de investigação, ou mesmo dos factores, dificilmente se proporcionaria uma clarificação apropriada do assunto. Optou-se, portanto, por registar algumas observações pontualmente, e por elaborar uma conclusão integradora.



## **2.1 Os materiais da Antiguidade à Revolução Industrial**

### **2.1.1 A utilização de madeira na antiguidade**

A madeira tem sido uma das mais importantes matérias-primas utilizadas pela humanidade desde a era paleolítica, sendo empregue em construção, e no fabrico de ferramentas, armas e mobiliário. Antigas civilizações, sumérias, egípcias, hindus e asiáticas, esgotaram rapidamente este recurso através da desflorestação local, pelo que cedo se tornaram dependentes de importação de madeira para suprir as suas necessidades. A madeira terá sido utilizada desde os primeiros tempos da existência humana, porque não eram necessárias ferramentas elaboradas para a trabalhar; com o desenvolvimento das ferramentas de cobre em cerca de 5000 a.C., a qualidade das aplicações de madeira melhorou significativamente (Youngs, 1989, p.138).

Uma das mais antigas relíquias de madeira que se conhece é a ponta de uma lança pertencente ao Paleolítico Inferior, que foi encontrada submersa em Inglaterra. O arco terá sido inventado durante o Paleolítico Superior, e existe também evidência da utilização do conceito de alavanca em armas e ferramentas. Nesta altura foram ainda inventados os primeiros machados e enxós<sup>1</sup>, atando pedras a galhos de madeira (Youngs, 1989, p.140).

A madeira desempenhou também um papel importante como combustível, material de construção, e no transporte de pessoas e dos seus bens, de que é um exemplo a roda, cujo desenvolvimento remonta às primeiras civilizações; existem imagens de rodas que datam de 3500 a.C., e foram encontrados veículos em túmulos de 3000 a 2000 a.C. A roda com raios era utilizada na civilização grega, e foram encontradas rodas de 10 a 14 raios em fortes romanos (Youngs, 1989, p.139).

Salienta-se, que já na Idade do Ferro, na Áustria, diferentes madeiras eram seleccionadas de acordo com as suas propriedades para diversas aplicações (Boenke, 2005, p.473). Segundo Youngs, Teofrasto, um aluno ou discípulo de Aristóteles, registou que as madeiras utilizadas para a construção de navios na Grécia antiga eram abeto branco, abeto e cedro – abeto branco pela leveza, abeto pela resistência à degradação, e cedro na Síria e Fenícia devido à falta de abeto (Youngs, 1989 p.139). Também em Myrhøj se observa que as peças utilizadas na construção de grampos de madeira, de cerca de 1405 d.C., reflectem uma selecção cuidada, que resulta da experiência e conhecimento das qualidades dos tipos de madeiras empregues. Estes grampos eram utilizados na construção de embarcações de madeira, e, eventualmente, também noutros tipos de construções deste material (Myrhøj, 2004, p.327).

O material que actualmente conhecemos como contraplacado decorativo, essencialmente produzido com madeiras rijas, existe desde cerca de 3000 a.C; um dos mais antigos exemplos foi encontrado no túmulo de Tutankhamon, de cerca de 1325 a.C. O propósito dos folheados

---

<sup>1</sup> Utensílio para desbastar peças de madeira.

decorativos era na altura, e tal como actualmente, o de maximizar a utilização das madeiras valiosas e atractivas; estas madeiras tinham de ser importadas, eram dispendiosas, e o seu fornecimento incerto (Youngs, 1989, p.142). O mobiliário de madeira terá sido desenvolvido inicialmente no Egipto, durante as primeiras dinastias, por volta de 3000 a.C.; a escassez de madeira para mobiliário nesta região desencadeou uma eficiente gestão da matéria-prima; tábuas cortadas do mesmo tronco eram dispostas lateralmente e ajustadas, as peças pequenas eram unidas para obter peças maiores, os defeitos eram removidos, e as peças remendadas (Youngs, 1989, p.141).

O mobiliário era raro até ao desenvolvimento das ferramentas de cobre, ainda assim, o trabalho da madeira tinha alcançado um refinamento considerável com as ferramentas de pedra polida; até então, o mobiliário era essencialmente elaborado com canas, palha e juncos, e, inicialmente, o mobiliário de madeira copiava o estilo leve obtido com estes materiais. Os componentes das peças de mobiliário eram frequentemente atados, nomeadamente com cordas de linho, até cerca de 2600 a.C., altura em que surgiram as primeiras uniões de madeira, resistentes e atractivas. Os pregos de bronze terão surgido posteriormente, em cerca de 1440 a.C. (Youngs, 1989, p.141).

Existe ainda evidência de novas técnicas para trabalhar a madeira nos períodos Mesolítico e Neolítico, através do melhoramento de machados, enxós e formões; o processamento da madeira melhorou consideravelmente com o advento de ferramentas de carpintaria mais eficientes durante o Neolítico, e mais ainda, durante a Idade do Bronze. Em cerca de 1500 a.C., o torno foi levado do Mediterrâneo para o norte da Europa, mas só em cerca de 700 a.C. seria amplamente difundido, com a disponibilidade de ferramentas de corte em ferro (Youngs, 1989, p.140).

Daqui se depreende, desde já, que a madeira era amplamente utilizada em múltiplas aplicações, técnicas e decorativas, e que o seu desenvolvimento não é independente do de outros materiais.

### **2.1.2 Os primeiros materiais**

*«Man has existed on earth for about 2.5 million years and has used materials for almost as long. Materials were no less important to prehistoric man than to his descendents of today. He needed materials to obtain and prepare food, for clothing and shelter, for tools and weapons, and for adornment and artistic expression.»* (Westbrook, 1990a, p.412).

Os materiais da Pré-história eram cerâmicos, vidros, polímeros e compósitos naturais. Nas armas, utensílios onde se encontrava a tecnologia mais avançada, bem como em edifícios e pontes, utilizava-se madeira e pedra. O ouro e a prata estavam disponíveis à superfície, mas não tinham um papel importante na tecnologia. A descoberta do cobre e bronze, e posteriormente do

ferro originou enormes avanços, sendo estes metais empregues em armas e ferramentas, substituindo madeira e pedra. Considera-se Idade da Pedra a partir de 10 000 a.C., Idade do Bronze de 3000 a.C. a 1000 a.C., e a Idade do Ferro de 1000 a.C. a 1620 d.C. (Ashby e Johnson, 2002, p.176).

Inicialmente, o Homem tinha de se contentar com materiais naturais: madeira, pedra, osso, palha, fibras e barro, entre outros. Apesar desta aparente limitação, atingiu-se uma grande sofisticação na utilização destes materiais, tirando partido das propriedades e estrutura interna de cada um, e obtendo uma aplicação adequada. Actualmente também se tira partido das propriedades dos materiais, mas procedendo da sua forma elementar ou de formas derivadas, e já não como são encontrados na natureza (Westbrook, 1990a, p.412).

Os materiais são de tal forma importantes, na medida em que o seu uso caracteriza as civilizações que os utilizam, que os historiadores até designaram certos períodos com o nome do material dominante: Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro (Hummel, 1998, p.3). Outros materiais, como a madeira e a cerâmica, apesar de não terem sido usados para denominar uma época no percurso da humanidade, foram continuamente utilizados, e muito importantes para o desenvolvimento das várias civilizações.

Uma das propriedades do barro é a sua plasticidade; a possibilidade de moldar este material terá sido descoberta bem cedo pelo homem pré-histórico, e quase simultaneamente, o seu endurecimento através do fogo; o barro é talvez o primeiro material cujas propriedades foram deliberadamente alteradas pelo Homem (Westbrook, 1990a, p.416). A cerâmica só se desenvolveu em sociedades agrícolas, estabelecidas, atendendo a que era necessário recolher o material primário do solo, e porque é um material frágil e pesado (Hummel, 1998, p.284). No entanto, enquanto a utilização de vários materiais teve um início e fim, a cerâmica tem sido usada continuamente. Distinguem-se algumas questões que contribuíram para a sua utilização: o barro é muito abundante em diversos locais; as características de modelação; e, a possibilidade de obter uma forma permanente e impermeável a uma temperatura baixa – a reacção química é obtida a 500° C. (Hummel, 1998, p.281). Entre as aplicações de materiais cerâmicos incluem-se contentores diversos, entre os quais, potes para guardar água e alimentos, e a sua aplicação na construção, de diversas formas: utilização de lama a envolver estruturas de madeira; e fabrico de tijolos, por vezes reforçados com palha, sendo este um dos primeiros exemplos de materiais compósitos fabricados pelo homem. Na Mesopotâmia, eram produzidos tijolos em série desde o 6º Milénio a.C. (Hummel, 1998, p.283).

No âmbito da descoberta dos metais pelo Homem, considera-se que este terá sido atraído pela coloração distinta da pedra, sendo o ouro e o cobre os metais naturais mais prováveis; surpreendente, terá sido o facto de esta pedra brilhante se deformar plasticamente. Desde esta altura, há cerca de 10000 anos, e durante os seguintes 6 ou 7 milénios, o Homem aprendeu a trabalhar estes materiais, descobrindo que eram bem diferentes de outros já familiares. Entre várias características, distingue-se o facto de serem duráveis quanto à sua resistência ao fogo e inundações; de representarem elevado valor em pouco peso, de que resulta a sua aplicação como

moeda; de serem reparáveis; de a sua forma poder ser reconvertida, sendo, portanto, recicláveis; de poderem ser brilhantes e lustrosos, e como tal decorativos ou utilizáveis como espelho; e de serem sonoros, daí a sua utilização em sinos (Westbrook, 1990a, p.413).

Defende-se que a selecção e manipulação de materiais para funções decorativas e efeitos sensuais, exerceu uma importante influência no desenvolvimento tecnológico dos materiais (Westbrook, 1990a, p.412 referindo Smith, 1981<sup>2</sup>). Por outro lado, Hummel observa que alguns povos nunca se interessaram pela fundição do cobre até à chegada dos europeus, apesar de este recurso ser abundante; portanto, considera-se que se poderá concluir, que as várias culturas tinham interesses e necessidades diferentes, que não devem ser comparados, nem os seus valores julgados (Hummel, 1998, p.10).

Durante o Calcolítico (cobre e pedra), crê-se que o cobre e outros metais no seu estado natural ou nativo se terão esgotado, pelo que o Homem do Neolítico terá procurado os metais em novas fontes, nos minerais (Hummel, 1998, p.6). Defende-se que a tecnologia de fundição do cobre foi emprestada da cerâmica, então já conhecida; como a cerâmica era decorada, colorida com óxidos metálicos, estes poderão ter fundido durante a cozedura de modo não intencional, aparecendo pequenas amostras de metal (Hummel, 1998, p.7). São ainda consideradas outras hipóteses no âmbito da descoberta da fundição dos metais: o aquecimento accidental de uma pedra colorida (minério de cobre) numa fogueira sob condições de redução; o aquecimento de malaquite ao vitrificar uma peça cerâmica; ou ainda, atendendo a que o ocre tem sido utilizado como pigmento por 300 000 anos, o conhecimento de que a exposição a temperaturas elevadas poderia alterar a sua coloração, bem como, eventualmente, a de outras pedras. Supõe-se, que uma vez aprendido o truque deva ter sido deslumbrante testemunhar a transmutação de uma pedra vulgar num material novo e totalmente diferente (Westbrook, 1990a, p.413).

Desde já se observa, que um requisito básico ao processamento de muitos materiais é a existência de uma fonte de calor; considera-se que a primeira utilização de fogo no processamento de materiais terá sido, provavelmente, o endurecimento de madeira para pontas de lanças ou arpões, de que existem exemplos de há cerca de 400 000 anos. Os processos físicos de transformação dos materiais foram os primeiros a ser introduzidos, na medida em que alteram a forma e não a natureza intrínseca dos materiais; os processos químicos foram introduzidos mais tarde, atendendo a que resultam da conversão ou aparente transmutação dos materiais em algo de totalmente novo e diferente, pelo que estes processos eram muito mais misteriosos, quase mágicos. Entre os exemplos destas reacções incluem-se: a fundição de metais, e, posteriormente, a cura do cimento (Westbrook, 1990a, p.420).

Compreende-se, portanto, que a disponibilidade de um material é uma condição essencial para a sua utilização, mas não a determina; identifica-se, que para além de propriedades técnicas, por vezes essenciais para a sobrevivência, se reconhece nos materiais também uma dimensão

---

<sup>2</sup> Smith, C. S. (1981), *A Search for Structure*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

estética; que as propriedades dos materiais são alteráveis através de processos; que no processamento de vários materiais é utilizada uma fonte de calor, energia; e, que um processo conhecido ou aplicado num dado material é por vezes transferido para outro.

### **2.1.3 Escassez de madeira nas 1as civilizações**

Na Mesopotâmia registou-se uma ampla utilização de madeira local e importada, desde o final do 3º milénio a.C. Entre as diversas aplicações da madeira, distinguem-se: navios, edifícios, combustível (nomeadamente para ferramentas de bronze, já comuns nesta altura), cabos de ferramentas, mobiliário como mesas e cadeiras, e outras utilidades, entre as quais taças e pratos. Durante períodos de crescimento acelerado, a procura de madeira era tal, que o seu valor alcançava o dos metais e pedras preciosas, sendo algumas madeiras guardadas juntamente com o tesouro real. Portanto, a conquista de certos territórios, era importante para assegurar o fornecimento de madeira. Em consequência da desflorestação, a produção agrícola desta região degradou-se, contribuindo para a queda da civilização Suméria (Perlin, 1989, pp.35-43).

No início do 2º milénio a.C., a escassez de madeira era tal em diversos locais da Mesopotâmia, nomeadamente na Babilónia, que as casas alugadas não incluíam portas; os inquilinos tinham de as levar quando mudassem, ou comprá-las numa carpintaria (Perlin, 1989, p.45). Considera-se que nesta altura se terão estabelecido as relações comerciais entre o Próximo Oriente e a Ilha de Creta; esta ilha, amplamente florestada, terá florescido através da comercialização da sua madeira; Creta transformou-se num dos estados mais poderosos do mediterrâneo. Com o desenvolvimento das indústrias do bronze e cerâmicas, construção de navios e edifícios diversos, entre outras aplicações, o consumo de madeira cresceu substancialmente nesta região, bem como a população da ilha. No início da Alta Idade do Bronze, a madeira seria já escassa também nesta região: o bronze era reciclado, e o carvão produzido com arbustos; a madeira remanescente em Creta era de difícil acesso, pelo que começou a ser importada da Grécia, da região de Micenas; e, enquanto esta região se desenvolveu, igualmente a partir do comércio de madeira, a actividade em Creta decresceu, sendo posteriormente governada pela região Micénica. Em Creta, entre 1500 a 1450 a.C., já só se usava madeira nas traves horizontais dos edifícios, e os troncos, anteriormente construídos em madeira, eram nesta altura de gesso (Perlin, 1989, pp.44-55).

No entanto, tal como as civilizações anteriores, também a Micénica entraria em declínio: Perlin observa, que tal como as florestas contribuíram para o sucesso da civilização Micénica, também a desflorestação contribuiu para o empobrecimento da mesma (Perlin, 1989, p.66). A madeira continuou a ser um material amplamente utilizado noutras civilizações, e com a sua utilização, cresceu também a desflorestação.

Na civilização Cipriota, a dificuldade em obter madeira fomentou o desenvolvimento da reciclagem dos metais, e da hidro-metalurgia na transformação do minério de cobre; esta tecnologia permitia consumir apenas 1/3 da energia necessária no método tradicional; apesar dos

avanços tecnológicos, a produção de cobre cessou 150 anos depois do seu auge, em 1200 a.C. (Perlin, 1989, pp.72-73). Observa-se em Perlin um ciclo que se repete em várias civilizações: a disponibilidade de recursos favorece o florescimento económico e aumento da população, as actividades intensificam-se, os recursos começam a escassear, eventuais desenvolvimentos tecnológicos centrados na eficiência permitem uma melhor gestão dos recursos e retardam ou amenizam o declínio das civilizações, o solo empobrece e torna-se susceptível a catástrofes naturais, a produção agrícola é ameaçada. Salienta-se, portanto, que a desflorestação tem acompanhado o desenvolvimento de várias civilizações, aspecto observado desde a antiguidade, como exposto por Perlin:

*«Ancient writers observed that forests always recede as civilizations develop and grow ... This occurred for a simple reason: trees have been the principal fuel and building material of almost every society for over five thousand years, from the Bronze Age until the middle of the nineteenth century ... Without vast supplies of wood felled from forests, the great civilizations of Sumer, Assyria, Egypt, China, Knossos, Mycenae, Classical Greece and Rome, Western Europe, and North America would never have emerged. Wood, in fact, is the unsung hero of the technological revolution that has brought us from stone and bone culture to our present age.»* (Perlin, 1989, p.25).

#### **2.1.4 A descoberta do ferro**

Hummel analisa os factores que levaram a que os homens da Idade do Bronze abandonassem a sua bem estabelecida tecnologia, e se interessassem por outro material, o ferro. O minério de ferro era mais abundante do que os outros, de cobre e estanho, e o ferro encontrava-se frequentemente disponível à superfície, pelo que não era necessário escavar, recorrer a minas. No entanto, a temperatura de fusão do ferro era virtualmente inacessível na bacia mediterrânea no segundo milénio a.C. Aparentemente, a razão pela qual se terá explorado o ferro, deriva da interrupção das rotas de comércio, cortando o fornecimento de estanho para a produção de bronze; quando eram necessários novos artigos deste material, os anteriores eram reciclados. O desenvolvimento da tecnologia do bronze, durante dois mil anos, foi desta forma interrompida no Médio Oriente, e num curto espaço de tempo, devido à falta de minério (Hummel, 1998, p.126).

No Oriente, a utilização do bronze continuou, sendo o ferro introduzido só mais tarde, entre 1000 e 650 a.C., em consequência de influências ocidentais (Hummel, 1998, p.126). Defende-se que a introdução do ferro e do aço, transformou a forma como alguns povos, nomeadamente os chineses, viveram e trabalharam; na china eram fundidas 120 peças em simultâneo; segundo Hummel, o ferro foi um elemento determinante no âmbito da transição da agricultura para a indústria. Os bens de aço eram trocados virtualmente em qualquer lugar; os machados de ferro permitiam o abate de florestas, como fonte de combustível e para aumentar os terrenos agrícolas;

e, as armas de ferro e aço permitiam a conquista e destruição de outras civilizações. Em muitas culturas, o aço é ainda um símbolo de força, poder e determinação (Hummel, 1998, p.128).

Em Westbrook (1990a), supõe-se que o ferro terá sido descoberto acidentalmente durante a fundição de cobre, e, provavelmente, na Mesopotâmia em cerca de 2700 a.C; considera-se que a sua descoberta terá sido ainda mais fortuita do que a do cobre, atendendo a que o produto obtido desta forma seria uma massa inconsistente e impura, sendo o ferro apenas consolidado através de repetidas acções, aquecendo e martelando (Westbrook, 1990a, p.414). E, enquanto o cobre podia ser trabalhado a frio, o ferro exigia trabalho a quente para se obter uma deformação substancial sem fractura (Westbrook, 1990a, pp.414-415).

Em Perlin apresenta-se uma outra hipótese aplicável, pelo menos, à civilização cipriota; defende-se que a crise energética, a causa mais provável para o declínio da produção de cobre, terá fomentado o desenvolvimento da indústria do ferro:

*«Because Bronze Age Cypriots smelted copper ore that contained no more than 4 percent copper but 40 percent iron, metallurgists could obtain more usable iron than copper with the same investment of fuel. Hence, common sense dictated switching to iron smelting when fuel was at a premium. Furthermore, the refuse from Cypriot copper smelting contained significant amounts of iron. As long as there had been plenty of fuel, metallurgists smelted virgin ore and ignored the slag that accumulated in large heaps. When fuel became harder to obtain and forced them to cut production, metallurgists found “gold” in their industrial garbage. They discovered that the slag contained a great amount of iron, which could be removed simply by hammering. Taking the iron out of the slag by manual means permitted metallurgists to completely bypass the heating process and still obtain workable metal, freeing them from the constraints placed upon their work by shortages of wood. The labor-intensive nature of working in this manner, however, drastically reduced the overall output of metal on Cyprus and yielded relatively small amounts of iron. But the success metallurgists had in working with iron at this early stage laid the foundation for the coming of the Iron Age in the Mediterranean region as well as the rest of Europe.»* (Perlin, 1989, p.74).

A transição do ferro para o aço terá sido iniciada em cerca de 1400 a.C., a sudoeste do Mar Negro; ter-se-á aprendido que ao aquecer ferro forjado em fogo de carvão de lenha, este se tornava muito mais duro que o bronze; apesar de existirem diversos artefactos de aço isoladamente, desde várias centenas de anos a.C., só nos tempos romanos se obteriam resultados consistentes (Westbrook, 1990a, p.415).

Considera-se que a escassez de material ou combustível, como defendido por Hummel e Perlin respectivamente, são hipóteses prováveis para a descoberta do ferro. No entanto, em Chipre, não havia falta de cobre; as florestas regeneraram depois do declínio da produção de cobre e da população, pelo que, posteriormente, durante o Império Romano, voltaram a ser

produzidos diversos objectos neste material (Perlin, 1989, p.123). Considera-se que a escassez é um factor impulsionador da mudança: Meadows et al. (2004) referem que as revoluções Neolítica e Industrial terão surgido em momentos de escassez, situações de necessidade, e que a qualidade de vida da maioria da população não terá melhorado (Meadows et al., 2004, pp.267-268). Ainda que não se possa excluir a hipótese de uma descoberta ser casual, o que aqui se procurará esclarecer são as causalidades: o que motivaria alguém a martelar repetidamente uma massa inconsistente e impura? Defende-se que este subproduto seria explorado numa situação de escassez, motivado pela ausência de combustível em Chipre, e, eventualmente, noutros locais, pela falta de matéria-prima.

### **2.1.5 A madeira na Grécia e em Roma**

A madeira era também amplamente utilizada pelas antigas civilizações Grega e Romana, como material de construção e combustível. Para os Gregos e Romanos, as palavras “*madeira*, *hulæ* e *matéria*”, eram sinónimos de “matéria primária”, o que sugere que este era o principal material utilizado, a partir do qual se faria quase tudo (Perlin, 1989, p.31). A madeira foi também um material chave no desenvolvimento de artefactos de guerra, sendo a sua aplicação essencial à expansão destas grandes civilizações; as propriedades da madeira permitiam a sua adequada aplicação para essa finalidade; a sua elevada razão resistência por peso era uma característica valiosa e desejável na altura, bem como hoje (Youngs, 1989, p.140). No entanto, também nestas civilizações se observa o mesmo ciclo em Perlin, e com o consumo de madeira aumentou a desflorestação.

Na Grécia, nos primeiros tempos, no século VIII a.C., enquanto a madeira era abundante, as florestas eram tidas como um aborrecimento e um entrave à cultura; no entanto, com a escassez da madeira no final do século V a.C., intelectuais como Aristóteles e Platão começaram a enfatizar a sua importância (Perlin, 1989, p.93). Em meados do século V a.C., a população de Atenas lidou com a falta de madeira através do desenvolvimento de arquitectura solar, o que permitia poupar carvão de lenha durante o Inverno (Perlin, 1989, p.87); durante o século IV a.C. eram já aplicadas diversas medidas regulamentares para preservar a madeira, cujo abate poderia ser punido com o exílio (Perlin, 1989, p.96). Em meados do século IV a.C., em Atenas, um tronco de madeira custava 177<sup>1/2</sup> dracmas, o que correspondia a cerca de 88 vezes o salário diário de um mestre-de-obras no início do século (Perlin, 1989, p.100); as amplas florestas da região da Macedónia foram um dos principais factores que contribuíram para a subida ao poder desta região no tempo de Filipe da Macedónia, pai de Alexandre O Grande (Perlin, 1989, p.101).

Também na civilização romana eram consumidas enormes quantidades de madeira; no fim do 1º século d.C., os banhos públicos romanos eram já populares mesmo fora de Roma; os banhos consumiam tais quantidades de madeira, que eram designadas florestas exclusivamente para o seu fornecimento (Perlin, 1989, p.112). Um outro acontecimento que aumentou o consumo de madeira foi a revolução da indústria do vidro: com a descoberta da tecnologia de sopro, o



consumo de vidro proliferou no 1º século d.C., substituindo os copos e jarros de metal (Perlin, 1989, p.113); neste século surgiram ainda as primeiras janelas de vidro, cuja aplicação se difundiu nos banhos públicos e nas casas dos mais abastados. (Perlin, 1989, pp.112-113). Uma outra fonte de consumo de madeira no 1º século d.C. era ainda a produção de betão para as diversas construções romanas (Perlin, 1989, p.114). Porque é que seriam utilizados outros materiais em construção, em vez de madeira, atendendo a que o cimento, betão e tijolos precisavam de madeira como combustível?

Identificam-se três questões que terão contribuído para a substituição da madeira em construção: a sua combustibilidade, degradação, e ausência de peças de grandes dimensões. No ano de 64 d.C., a cidade de Roma foi devastada por um grande incêndio, sendo reconstruída com tijolos atendendo a que estes não ardiam, e a preferência por este material persistiu (Perlin, 1989, p.116); segundo Beukers e Hintze (1999) as pontes de madeira terão sido substituídas pelas de pedra por estas apresentarem uma durabilidade superior (Beukers e Hintze, 1999, p.117); e, em Pompeia, no início do Império, os carpinteiros substituíram as vigas de madeira inteiras por secções de madeira coladas /unidas com cimento, sendo ainda referido que este compósito não era encontrado em construções anteriores, em que se utilizavam vigas de madeira inteiras. Considera-se que esta transformação demonstra que a generosa abundância de madeira estava a decrescer (Perlin, 1989, p.117).

Em Perlin expõe-se ainda uma outra questão:

*«Bricks in early buildings were extremely thin, well fired, and held together by liberally applied quantities of lime mortar. In contrast, as the Imperial period progressed, the opposite proved to be true: bricks were very thick, usually poorly fired, and held together by a minimum of mortar. Marsh believed the difference was “due to the abundance and cheapness of fuel in early [times], and its growing scarceness and dearness in later ages.” He then elaborated on his theory: “When wood cost little, constructors could afford to burn their brick thoroughly and burn and use a great quantity of lime. As the price of firewood advanced, they were able to consume less fuel in brick and lime kilns and the quality and quantity of brick and lime used in building were gradually reversed in proportion.” »* (Perlin, 1989, pp.128-129 baseado e citando George Perkins Marsh<sup>3</sup>, p.230).

O aumento do consumo de madeira levou à sua escassez local, pelo que também os romanos tiveram de aprender a conservar: ainda no 1º século d.C., os mais pobres percorriam a cidade à procura de vidro partido, que podia ser reciclado a temperaturas muito mais baixas (Perlin, 1989, p.117). Dada a escassez de madeira, as indústrias cerâmica, do vidro e metalúrgica, mudaram-se para outras zonas do império amplamente florestadas, inicialmente para o sul de França (Perlin, 1989, p.121). No século II d.C., as províncias tornaram-se a fonte de recursos e produção do

---

<sup>3</sup> Marsh, George Perkins (1874), *The Earth as Modified by Human Action*.

Império Romano (Perlin, 1989, p.123). Posteriormente, também as províncias do Império Romano se depararam com os mesmos problemas de Itália, e as indústrias referidas, então sul de França, mudaram novamente no final do século II d.C. para a Bélgica e Alemanha, regiões florestadas (Perlin, 1989, p.124).

Considera-se, que o facto de os Romanos terem de percorrer grandes distâncias para arranjar madeira, nomeadamente do Norte de África, demonstra a escassez do material naquela região (Perlin, 1989, p.128). Uma madeira do Norte de África, a sandárac, era muito valiosa, sendo utilizada em aplicações decorativas; depois de meados do 1º século d.C. já não havia esta árvore em África, nas regiões ocupadas (Perlin, 1989, p.125):

*«Romans also went to North Africa for timber, where they sought the sandarac tree, a large pine noted for its durability and color. A mania for tables made out of this wood raged among the wealthy men of Rome. A table made of sandarac wood could cost as much as the equivalent of seventeen pound of gold. Although Seneca criticized his fellow Romans for their prodigal tastes, the philosopher allegedly owned five hundred sandarac tables himself. So great was the obsession for and acquisition of such furniture that women could fend off the men's charges of their own extravagance in acquiring jewellery just by mentioning the tables.»* (Perlin, 1989, pp.121-122).

Uma medida de conservação implementada pelos romanos, foi a construção de habitações e banhos públicos aproveitando a energia solar, como os gregos anteriormente; no entanto, como os romanos utilizavam vidro nas janelas, o aproveitamento da energia solar era mais eficiente (Perlin, 1989, pp.118-119); foram também implementadas medidas no âmbito da silvicultura (Perlin, 1989, p.119); e, com a escassez, desenvolveu-se uma mudança nas atitudes acerca das árvores e da floresta: as árvores foram então consideradas como belas, e os bosques, locais ideais para pensar e uma fonte de inspiração (Perlin, 1989, p.120).

#### **2.1.6 Da madeira ao coque – Inglaterra antes da Revolução Industrial**

Já nos séculos XIII e XIV, na República Veneziana, haviam surgido medidas que visavam a conservação de madeira, nomeadamente, limitando o seu consumo como combustível para a indústria do vidro (Perlin, 1989, p.147); defende-se que o grande consumo de carvão de lenha como combustível na fundição do ferro poderá estar na origem da redução das áreas florestais dos países industrializados. Para preservar as suas florestas e capacidade para construir embarcações, em 1584, o parlamento inglês restringiu o abate de árvores para a produção de carvão de lenha; procurou-se então um material alternativo, que foi encontrado no século XVII, o coque, e que deriva do carvão mineral (Hummel, 1998, p.132). Como demonstrado em Perlin, a descoberta deste combustível em Inglaterra, foi motivada pela escassez de madeira.

Em Inglaterra, durante o século XVI, a dimensão dos navios de guerra aumentou substancialmente; para a reparação de quatro navios eram necessários 1740 carvalhos maduros, ou cerca de 2000 toneladas de madeira de carvalho. Na construção de um grande navio eram empregues cerca de 2000 árvores de carvalho com pelo menos uma centena de anos, porque a madeira de árvores mais novas não possuía a mesma resistência (Perlin, 1989, pp.175-176). Durante este século houve um enorme consumo de madeira: como material de construção, em casas, mobiliário, navios, carruagens e vagões; e como combustível na produção de ferro, vidro, tijolos e azulejos (Perlin, 1989, p.177).

O elevado preço da madeira e a sua relativa escassez em Inglaterra, impulsionaram medidas de conservação, e a adopção do carvão mineral como a principal fonte de combustível; esta transição teve início ainda no século XVI em várias cidades do litoral em que já não havia madeira, entre as quais Londres. Dadas as consequências da utilização do carvão na poluição atmosférica, defende-se que a sua utilização não foi recebida com entusiasmo; a utilização do carvão teria sido proibida anteriormente para preservar a qualidade do ar; no entanto, o carvão era o único combustível alternativo (Perlin, 1989, p.186).

No início do século XVII, os construtores do sul do País de Gales tiveram de passar a utilizar cal e pedra por falta de madeira (Perlin, 1989, p.191); em Londres foi proibida a utilização de madeira como combustível e material de construção, até uma distância de uma milha dos subúrbios da cidade, e as casas teriam de ser feitas com tijolos<sup>4</sup> e pedra (Perlin, 1989, p.193). Em 1615, a proibição de utilizar madeira como combustível foi alargada à indústria do vidro (Perlin, 1989, p.193); entretanto foi descoberto, patenteado e adoptado, um novo método para produzir vidro com carvão mineral; as fábricas que utilizavam madeira foram fechadas (Perlin, 1989, pp.194-195). No final do século XVII, dada a escassez de madeira, a maior parte das indústrias já só utilizava o carvão mineral (Perlin, 1989, p.224).

Uma excepção era a da fundição e trabalho do ferro; já tinha havido muitas tentativas para utilizar o carvão mineral em vez do carvão de lenha nesta indústria, mas não tinham sido bem sucedidas (Perlin, 1989, p.227). O fornecimento de madeira para esta indústria agravou-se durante o século XVIII, pela crescente utilização de madeira na construção de canais, fábricas e máquinas para as indústrias, nomeadamente têxteis e de queijo, e na construção dos primeiros caminhos-de-ferro, e respectivos vagões utilizados no transporte do carvão (Perlin, 1989, pp.227-236).

A escassez de madeira incentivou o desenvolvimento de equipamento mais eficiente energeticamente, mas ainda assim, a produção nacional de ferro não era suficiente para colmatar a procura, e Inglaterra começou a importar ferro ainda no final do século XVII, essencialmente da Suécia (Perlin, 1989, pp.238-239). Posteriormente, o ferro foi fornecido pela colónia inglesa na América do Norte, da qual provinha também madeira (Perlin, 1989, pp.307-314), particularmente para mastros de navios, e cujo comércio fora iniciado em meados de do século XVII (Perlin, 1989,

---

<sup>4</sup> Presume-se que os tijolos seriam cozidos com carvão mineral (Perlin, 1989, p.193).

p.279). No entanto, em cerca de 1700, com a Revolução Americana, o fornecimento de madeira para Inglaterra decresceu (Perlin, 1989, p.327). No final do século XVII, dada a falta de madeira de grandes dimensões para a construção de mastros, experimentou-se a construção de um feito de partes mais pequenas; no início do século XVIII, todos os mastros da frota naval Inglesa provinham da região de Nova Inglaterra (Perlin, 1989, pp.281-282).

Só durante o século XVIII é que a indústria do ferro se tornou independente do fornecimento de madeira através da descoberta e refinamento do coque, um combustível de carvão mineral purificado, que resolveu o problema de contaminação do ferro em contacto com o carvão mineral, e que impedira a sua utilização (Perlin, 1989, pp.241-242). A partir de então a produção de ferro proliferou em Inglaterra, e a madeira foi amplamente substituída; considera-se que esta descoberta foi determinante para a continuidade do crescimento industrial inglês (Perlin, 1989, pp.244-245).

*«The coal revolution allowed England to leave the era of wood and put both feet in the Iron Age. Iron rails replaced their wooden predecessors, as did bridges, beams, machinery, and ships built with iron. The rise of iron and coal caused timber to lose its status as civilization's primary building material and fuel and became comparatively worthless lumber. Wood, however, made the revolution possible. Timber props held up mine shafts so coal could be extracted. Then coal was initially shipped to the ironworks in wooden carts on timber rails or in wooden boats through canals whose locks were also made of wood until they were eventually replaced by iron equivalents.»* (Perlin, 1989, p.245).

Do exposto, compreende-se que a escassez de madeira foi um factor decisivo para a sua substituição pelo ferro. Como questionado por Hummel a respeito do abandono da tecnologia do bronze e do desenvolvimento do ferro, o que motivaria a substituição da bem estabelecida tecnologia da madeira? Defende-se, que também neste contexto, a escassez desempenhou um papel central; como identificado anteriormente, outros factores terão também contribuído para a substituição: a combustibilidade e degradação da madeira, e a resistência dos metais a agentes como o fogo e a água. Considera-se que estas propriedades terão suscitado substituições pontuais em algumas aplicações, mas que não justificam a substituição generalizada que ocorreu.

Em Perlin expõe-se ainda o seguinte:

*«The Commission asked many experts for advice on handling the wood crises. The surveyor of shipping responded by suggesting that iron, now manufactured from coal, of which England had plenty, could be substituted for timber in many parts of the ships. Other trades came to the same conclusion: replace wood with iron wherever possible. Millwrights began making waterwheels out of iron rather than wood. By the early nineteenth century such construction became common practice. Civil engineers advocated using iron instead of timber in bridge construction. They objected to wood because of its rapid deterioration. Robert*

Fulton<sup>5</sup>, a noted authority on construction and the father of steam navigation, concurred, stating, “this objection is well founded [in England] where timber is scarce and consequently expensive.”» (Perlin, 1989, p.327).

É ainda de salientar que em Inglaterra, durante o século XVII, as florestas eram consideradas como o oposto de desenvolvimento; um país florestado seria ainda bárbaro, enquanto a desflorestação constituía uma prova ou a evidência de desenvolvimento (Perlin, 1989, pp.226-227).

### 2.1.7 A pérola do Atlântico

Tal como em Inglaterra, a madeira era também um importante recurso noutros países europeus, e que também se foi tornando escasso com o avanço do desenvolvimento; portanto, a descoberta de novos territórios desempenhou um papel importante no seu fornecimento, e de que é um exemplo a Ilha da Madeira para Portugal. Esta ilha terá sido descoberta (oficialmente) pelos portugueses em 1420, e assim denominada pela abundância desta matéria-prima (Perlin, 1989, p.249); acerca da Ilha da Madeira, Camões terá escrito que a Madeira “era como uma jóia e a jóia eram as suas árvores”<sup>6</sup> (Perlin, 1989, p.250, baseado em *Os Lusíadas*, V.5).

«Passámos a grande Ilha da Madeira,  
Que do muito arvoredado assi se chama;  
Das que nós povoámos a primeira,  
Mais célebre por nome que por fama.  
Mas, nem por ser do mundo a derradeira,  
Se lhe aventajam quantas Vénus ama;  
Antes, sendo esta sua, se esquecera  
De Cipro, Gnido, Pafos e Citera.»  
(Camões, Canto V. 5, séc. XVI, Instituto Camões)

Segundo Perlin, a Ilha da Madeira, 240 anos depois de descoberta, em cerca de 1660, de madeira já só teria o nome (Perlin, 1989, p.258); no final do século XVII, a Ilha estava quase coberta por videiras, e a madeira necessária à exportação do vinho da região era importada de Nova Inglaterra, na América do Norte, na altura uma colónia inglesa; desta região era também exportada madeira para Portugal continental e Espanha, transportada nas respectivas embarcações destes países (Perlin, 1989, pp.266-267).

---

<sup>5</sup> Fulton, Robert (1796), *A Treatise on the Improvement of Canal Navigation*, p.126.

<sup>6</sup> Tradução de “was like a gem and the gem was its trees”, Perlin, 1989, p.250, bas. em *Os Lusíadas*, V.5.

Conclui-se que a madeira foi um material amplamente utilizado desde a antiguidade, que a sua utilização como material de construção e combustível foi essencial para o desenvolvimento de diversas civilizações, e que a escassez terá sido um dos principais factores a motivar a sua substituição.

## **2.2 Revolução Industrial – a proliferação dos “novos” materiais**

### **2.2.1 Revolução Industrial – substituição da madeira**

*«If a craftsman or industrialist from the time of Christ were to have been suddenly transported to 1800, he would have found little in the materials world to surprise him. Structural materials were still principally wood, brick and stone with metals used sparingly, and only in critical applications. Glass and ceramics were unchanged, fibres were still the familiar natural ones, paper was derived only from rags, and electronic materials, polymers and composites were unheard of. Perhaps the most noticeable change would have been the increased scale of materials processing operations and the enhanced degree of mechanization. Power sources were either thermal, wind or hydraulic, all of which had been in use for hundreds of years. Only steam offered a new opportunity.» (Westbrook, 1990b, p.423).*

Em 1786, o motor a vapor de Watt era já utilizado em diversas indústrias; este surgiu como um substituto atractivo da energia hidráulica, essencialmente, porque tornou a fonte de energia independente do local e da estação do ano; no motor a vapor foram empregues novos materiais, o ferro fundido e forjado, de modo a obter resultados satisfatórios (Westbrook, 1990a, p.421). Nos EUA, como a madeira era ainda abundante, era o combustível utilizado no motor a vapor (Perlin, 1989, p.336).

A mecanização do processamento de materiais teve várias consequências importantes, nomeadamente, a redução da variabilidade da produção manual, o aumento do volume de bens produzidos, a redução do seu preço, e a independência da falta ocasional de mão-de-obra (Westbrook, 1990a, p.421). Entre os factores que contribuíram para o rápido avanço no desenvolvimento dos materiais, distinguem-se: a energia eléctrica, a tabela periódica, instrumentos para o estudo da estrutura interna dos materiais, e a comunicação científica (Westbrook, 1990b, p.423 e 425).

Na Europa, entre o século X e o século XVIII, a madeira era o principal material utilizado em edifícios, ferramentas, máquinas, fábricas, carroças, baldes, sapatos, mobiliário e barris de cervejas, entre outros artigos; a maioria dos mecanismos e invenções essenciais à era da máquina foram desenvolvidos em madeira. Neste continente, a utilização de madeira alcançou o

seu auge durante o século XVI, altura em que a disponibilidade desta matéria-prima começou a decrescer, em consequência da elevada procura do recurso e da expansão da agricultura (Youngs, 1989, p.139).

Nos EUA, o auge da utilização de madeira ocorreu cerca de 150 a 200 anos depois, entre meados e o fim do século XIX; as florestas dos tempos coloniais, aparentemente inesgotáveis, foram exploradas juntamente com outros recursos durante o rápido crescimento económico; durante a segunda metade do século XIX, o volume de madeira serrada produzido anualmente cresceu de 10 milhões para 85 milhões de metros cúbicos, um nível que se tem mantido até ao presente. As aplicações tradicionais da madeira como combustível, e na construção de navios, pontes, e edifícios de grandes dimensões, foram substituídas por petróleo, carvão, ferro, aço, pedra e tijolos (Youngs, 1989, p.139).

Neste contexto, coloca-se então a seguinte questão: porque é que nos EUA a madeira só foi substituída posteriormente?

*«In the nineteenth century in North America, railroad used wood for fuel, as well as for tracks, sleepers, cars, bridges, trestles, tunnel linings, sheds and stations. In the cities public transportation was mostly of wood, including horsecars, electric trolleys, cablecars, carriages and buggies. Roads made of planks laid across parallel rows of timbers embedded in the earth had come from Russia to London in the 1820s and spread to the USA during the period 1850-1857. When they were in good condition, these were the best roads in the country and more than 3000 km of such road were constructed in the mid-1800s. However, their demise soon came about as the result of excessive cost of maintenance.» (Youngs, 1989, p.139).*

Durante o século XIX, nos EUA, a madeira era o principal material para construção de casas (Perlin, 1989, p.337), carruagens e estradas (Perlin, 1989, p.339), bem como pontes, algumas de grandes dimensões, tendo uma delas quase 1 milha de comprimento; estas seriam construídas em madeira, segundo um engenheiro, porque este material era barato (Perlin, 1989, pp.339-340). Neste século, também os barcos a vapor consumiam madeira como combustível (Perlin, 1989, pp.343-345). Quanto aos navios, dos 38 619 em serviço, em 1880, apenas 5 ou 6 eram de ferro, sendo os restantes construídos quase inteiramente em madeira, salientando-se a preferência dos americanos por este material (Perlin, 1989, p.346, baseado em Henry Hall, 1884<sup>7</sup>).

A madeira foi também amplamente utilizada nos caminhos-de-ferro, como material de construção e combustível (Perlin, 1989, pp.346-348). O crescimento da população dos EUA foi extraordinário: 4 milhões em 1790, quase o dobro em 1810, e mais de 50 milhões de pessoas em 1880 (Perlin, 1989, p.337).

---

<sup>7</sup> Hall, Henry (1884), relatório de um censo à indústria naval americana, em 1880, p.46.

*«In one of the seminal Works on pioneer society in the Ohio valley, Statistics of the West (1836), James Hall showed how settlers in the nineteenth century relied almost entirely on wood for all their needs. Not only did the American pioneers rely on wood in traditional ways, such as in building houses and bridges and for fuel and fencing, they also substituted wooden pins for iron nails, curbed wells with hollow logs, had their doors “swinging on wooden hinges” and “fastened with a wooden latch”, and used wood to build their chimneys. Because Americans so frequently substituted wood for “stone, iron and even leather”, America, Hall remarked, could indeed be called “a wooden country”.» (Perlin, 1989, pp.30-31 baseado em James Hall, 1836<sup>8</sup>).*

No entanto, também nos EUA surgiria a desflorestação: em 1835 terá sido desflorestada uma área de cerca de 1600 milhas quadradas, sendo este número de 7000 milhas quadradas vinte anos depois; em 1850, 25% da área de terra dos EUA estava florestada; vinte anos depois, a área florestada era de apenas 15% (Perlin, 1989, p.356). No censo às florestas de 1810, o autor salienta que as florestas encobrem um solo rico e impedem a cultura; no censo de 1880, enfatiza-se a necessidade de proteger as árvores, em vez de as abater indiscriminadamente (Perlin, 1989, p.360). Segundo Perlin, tal como em Inglaterra (referido anteriormente) existiria nos EUA durante o século XIX, a percepção generalizada de que a desflorestação representava desenvolvimento e iluminação da civilização (Perlin, 1989, p.357).

Nos EUA, entre 1830 e 1890, foram produzidas 19 milhões de toneladas de ferro utilizando madeira como combustível; comparativamente, entre meados do século XVI e meados do século XVIII, em média, num período de 60 anos, produzir-se-ia em Inglaterra cerca de 1 milhão de toneladas (Perlin, 1989, p.337). As pontes de madeira foram gradualmente substituídas por outras, de ferro, aço e betão; o navio de madeira evoluiu em design até ao final do século XIX; no entanto, em cerca de 1880, os navios de ferro eram já dominantes nas fragatas das principais forças navais, sendo os navios de madeira substituídos também na América do Norte, quando a utilização deste material se tornou desfavorável economicamente (Youngs, 1989, p.139).

Considera-se que a madeira continuou a ser amplamente utilizada no continente americano, porque era um material abundante, e, conseqüentemente, barato. Identifica-se ainda, que a adopção tardia do ferro não limitou o desenvolvimento neste continente, pelo que se poderá inferir, que na maioria das aplicações, o desempenho da madeira seria satisfatório, e que a aplicação do ferro não apresentava uma mais valia substancial que justificasse o emprego desta tecnologia; a madeira permitiria fazer quase tudo. É ainda de salientar, o facto de os americanos substituírem aplicações tradicionais de outros materiais por madeira, de que constituem exemplos a substituição de pregos metálicos por pinos de madeira, e a utilização desta em sistemas de fecho.

---

<sup>8</sup> Hall, James (1836), *Statistics of the West at the Close of the Year 1836*, p.101.



Posto isto, será sensato justificar a ampla utilização de madeira, inclusive em aplicações tradicionais de outros materiais, apenas com base na sua abundância? Neste contexto, poder-se-á considerar a hipótese de que algumas propriedades da madeira, a versatilidade, e facilidade de trabalhar o material, terão também contribuído para a sua utilização. Por outro lado, é também referida a eventual preferência por este material, bem como a associação de desflorestação com desenvolvimento, como em Inglaterra, anteriormente. No entanto, apresenta-se evidência de que a substituição da madeira por ferro ocorreu, essencialmente, em consequência da desflorestação dos EUA, e da inerente inviabilidade económica do material.

Como referido anteriormente, os metais têm propriedades claramente distintas das da madeira, nomeadamente, no âmbito da resistência ao fogo, pelo que a utilização destes materiais terá sido fundamental em certas aplicações; no entanto, o que se procura aqui esclarecer são os factores que contribuíram ou determinaram a substituição generalizada da madeira; ainda que os metais permitissem desempenhos melhorados, considera-se que as propriedades dos materiais não foram um factor chave; defende-se que o motor do processo de substituição foi a escassez, factor já identificado anteriormente como determinante para o desenvolvimento e inovação de outros materiais e tecnologias.

### **2.2.2 Os “novos” materiais**

Em 1851 teve lugar em Londres, a Grande Exposição Internacional de Arte e Indústria. Para o efeito, foi construída uma estrutura temporária, o Palácio de Cristal, por Joseph Paxton. A construção atraiu um enorme interesse, pela aplicação de ferro fundido e forjado, pela ampla utilização de vidro, e pela completa ausência de materiais de construção tradicionais como a pedra. O corredor principal da exposição foi construído em apenas seis meses, devido à utilização de elementos pré-fabricados. Estes materiais e respectivos processos já haviam sido utilizados por Paxton em estruturas utilitárias, como estações de caminhos-de-ferro e estufas, mas ainda assim, o palácio de cristal transmitia e simbolizava modernidade, progresso e confiança nas possibilidades da tecnologia industrial (Raizman, 2003, p.52).

*«O grande edifício de Paxton, em vidro, tal como as pontes de estrutura reticular e os pavilhões industriais criados pelos engenheiros da época, dera à Europa um grande choque visual. As construções tinham sido sempre vistas como coisas maciças, bem enraizadas no solo com as suas paredes sólidas. Eis que, de repente, tomavam um aspecto transparente. As novas construções tornavam-se, assim, a própria imagem da leveza.» (Manzini, 1986, p.116).*

Durante a primeira metade do século XIX, o desenvolvimento industrial possibilitou um uso mais alargado de materiais como o ferro fundido, nomeadamente em cadeiras e bancos (Raizman, 2003, p.35). Exemplos de aplicação de metais em mobiliário, do início do século XIX, são as

cadeiras em ferro fundido e forjado do arquitecto alemão Karl Friedrich Schinkel, utilizadas em aplicações exteriores, jardins e parques públicos (Raizman, 2003, p.36). Um outro exemplo posterior de aplicação do ferro fundido é o projecto das entradas das estações de metro de Paris, desenvolvidas em 1900 por Hector Guimard, um representante do movimento Arte Nova; Guimard utilizou igualmente o ferro fundido em diversas grelhas de janelas e em portões de entrada (Raizman, 2003, pp.85-86).

*«Com a revolução industrial e os novos materiais, surgiram soluções radicalmente novas. O aço entrou nos sistemas de construção, seguindo a persistente tradição dos vigamentos de madeira, mas alargando os limites deste modelo de construção.» (Manzini, 1986, p.114)*

A identificação do carbono como o elemento chave que distingue o ferro forjado, o ferro fundido, e o aço, só foi alcançado em 1781 na Suécia por Bergman (Westbrook, 1990a, p.421). Diversas inovações no processamento do aço permitiram a expansão deste material; em 1850 a sua produção fora de cerca de 60 000 toneladas, e em 1900 a produção de aço era já superior a 28 milhões de toneladas. Uma das aplicações do aço foi nos carris dos caminhos-de-ferro; o aço permitia uma durabilidade dez vezes superior à do ferro (Westbrook, 1990b, p.425).

O cimento e o betão são materiais amplamente utilizados na construção desde os tempos romanos; no entanto, a utilização exclusiva de materiais naturais, e um fraco controlo das operações de processamento, produziam resultados muito variáveis (Westbrook, 1990b, pp.428-429). Esta situação alterou-se a partir do século XIX, em particular com o desenvolvimento do cimento Portland, em 1824. Entre as principais aplicações do novo material salientam-se, a construção de fundações, esgotos, túneis, trabalhos portuários e canais. A sua produção aumentou significativamente a partir de 1892 com a introdução do forno rotativo (Westbrook, 1990b, p.429).

A utilidade do betão como material de construção aumentou substancialmente com a introdução do aço como reforço em meados do século XIX. Distinguem-se algumas razões para o bom funcionamento desta combinação de materiais: existe uma boa adesão entre a matriz e o reforço; os coeficientes de expansão térmica são idênticos; existe um complemento entre a resistência à compressão do betão, e a resistência a forças de tensão do aço; e o betão protege o aço de agentes como a água e o fogo. O betão armado foi empregue na Alemanha em cerca de 1850 na construção de estradas, na Suíça em cerca de 1870 em pontes, e em 1903 nos EUA, foi construído o primeiro edifício inteiramente formado por betão armado (Westbrook, 1990b, p.429).

Como referido por Janson (1986), os novos materiais e processos foram explorados, essencialmente, em estruturas que não eram consideradas “arquitectura”, e que se encontravam fora do âmbito da construção tradicional, de que são exemplo o Palácio de Cristal, bem como armazéns, fábricas, lojas, escritórios e apartamentos. Um acontecimento que proporcionou a utilização de “novos” materiais e processos foi o grande incêndio da cidade de Chicago, em 1871 (Janson, 1986, pp.746-747).

Na América do Norte, a madeira permaneceu como o principal material de construção até meados do século XIX, e ainda o é no sector residencial, tal como noutras regiões em que este recurso é abundante, e a tradição de construir em madeira permaneceu, nomeadamente na Escandinávia. Um elemento crítico deste uso continuado registou-se com o desenvolvimento da construção de estrutura em balão em Chicago, em cerca de 1830. Este método foi desenvolvido com o intuito de aumentar a flexibilidade em edificar as construções, e de ultrapassar a dificuldade em arranjar mão-de-obra especializada para realizar as conexões inerentes às estruturas de madeira convencionais e pesadas; o novo conceito empregava estruturas leves, painéis, e as uniões eram pregadas. Depois do desastroso fogo de Chicago de 1871, o que havia sido construído em madeira foi recriado em ferro; os problemas relacionados com a combustibilidade da madeira, e a necessidade de edifícios mais altos, contribuíram para a substituição da aplicação de madeira nos centros urbanos. No entanto, na periferia, a madeira é ainda o principal material utilizado em construção residencial nos EUA (Youngs, 1989, p.141).

A madeira é um material combustível; no entanto, como é também um bom isolador, em peças de largas dimensões a chama propaga-se lentamente. Nos EUA, vários códigos de construção permitem a utilização de estruturas de madeira pesadas em distritos sujeitos a fogos, e com todos os tipos de ocupação. Actualmente, é também possível controlar a combustibilidade da madeira, através da aplicação de retardantes de fogo (Freas, 1989, pp.31-32).

Foi precisamente em Chicago que surgiram os arranha-céus de Louis Sullivan, o primeiro arquitecto moderno, no final do século XIX (Janson, 1986, pp.748-749). No entanto, foi na Europa, depois da 1ª G.M. que se desenvolveu este “Estilo Internacional”, e que proliferou depois nos EUA com a emigração de arquitectos alemães como Walter Gropius e Ludwig Mies van der Rohe (Janson, 1986, p.763). Neste contexto, defende-se que a disponibilidade técnica não garante só por si a mudança, ou a utilização de um dado material; recordemos que, como referido por Hummel, algumas civilizações não utilizaram o bronze, apesar de este ser um material abundante.

Considera-se que a emergência súbita do Movimento Moderno na Arte e na Arquitectura, no início do século XX, é um exemplo da necessidade de conjuntura cultural e de capacidade inventiva e de design para superar o modelo de referência tradicional, atendendo a que as transformações técnicas tinham já surgido anteriormente; *«Este movimento apresentou-se como se “um grande número de homens se tivesse subitamente apercebido de que o reportório das formas que herdara não correspondia já ao significado da existência”»* (Manzini, 1986, p.54, baseado e citando Kluber, 1972<sup>9</sup>).

*«A possibilidade de fabricar industrialmente chapas de vidro, de construir edifícios com estruturas delgadas e de criar sistemas de ar condicionado eliminou os principais obstáculos técnicos que regiam a relação entre opaco e transparente – a partir do Palácio de Cristal de Paxton, a arquitectura transparente tornou-se uma solução praticável. Esta súbita libertação*

---

<sup>9</sup> Kluber, George (1972), *The Shape of Time*, Yale University Press, New Haven.

*do vínculo do opaco deu lugar a novas linguagens arquitectónicas e, em particular, à arquitectura do vidro do International Style.»* (Manzini, 1986, p.175).

O arranha-céus de vidro é uma imagem emblemática da cultura do nosso século, racional e perfeita como um cristal; no entanto representa também as contradições e crises desta cultura: «... o prisma de vidro que brilha ao Sol e aquece de um lado e gela do outro, e mesmo o sistema de ar condicionado mais potente e energívoro tem grandes dificuldades em criar, no seu interior, condições aceitáveis de habitabilidade.» (Manzini, 1986, p.176). Esta questão acentuou-se com as necessidades económicas e ecológicas de redução do consumo de energia; portanto, no âmbito da criação do transparente, desenvolveu-se nos materiais, a sua capacidade de interagir com a luz (Manzini, 1986, p.177).

Novos materiais e tecnologias desafiaram designers modernos, nomeadamente em mobiliário de interior, de que é um exemplo a *chaise longue* de Armand Albert Rateau, de 1922, em bronze patinado (Raizman, 2003, p.147). Edgar Bandt trabalhou com ferro forjado, sendo um exemplo a sua consola de 1925, e experimentou combinações de metais e ligas utilizando novas tecnologias, com aplicações em mobiliário, iluminação, painéis e portas (Raizman, 2003, p.151). Poder-se-á considerar que os exemplos mais emblemáticos da utilização de metais em mobiliário são as cadeiras de Marcel Breuer com estrutura tubular em aço, de que é um exemplo a cadeira Wassaly desenvolvida entre 1925 e 1927 (Fiell, 1997, p.163). Também nos EUA se começou a aplicar materiais metálicos em mobiliário de interior, de que é um exemplo o escritório desenvolvido em 1929 para uma exposição no museu metropolitano, por Raymond Hood, o arquitecto do Empire State Building (Raizman, 2003, p.208).

Actualmente, o papel do aço está a diminuir apesar de a sua produção aumentar, devido à introdução de novos materiais, em particular os plásticos, que têm substituído o aço em aplicações tradicionais; por sua vez, o alumínio está a tornar-se mais competitivo, por ser um material leve e resistente à corrosão (Hummel, 1998, p.133).

Desde 1840, diversos desenvolvimentos electro-metalúrgicos transformaram o alumínio de uma curiosidade dispendiosa, num material quantitativamente relevante ainda antes de 1900; actualmente este é o segundo material mais consumido (Westbrook, 1990b, p.425). Em meados do século XIX o seu preço era similar ao do ouro e da prata; a joalharia foi uma das suas primeiras aplicações. Só no final do século XIX é que o alumínio começou a ser aplicado em arquitectura, mobiliário e outros produtos, através da industrialização do processo electrolítico de extracção do material (Raizman, 2003, p.35). Um exemplo de utilização do alumínio é a moldura de 1897 de Margaret e Frances MacDonald, sendo a primeira, esposa de C. R. Mackintosh. Nesta altura, Glasgow era o centro de produção de alumínio da Grã-bretanha (Raizman, 2003, pp.91-92).

No período entre as guerras, o alumínio surgiu como um material de construção leve, utilizado em mobiliário industrial, aviões, e em aplicações comerciais de exterior (Raizman, 2003, p.319). Nos anos 50, num esforço para manter os níveis de produção de alumínio alcançados durante a guerra, foram encontradas novas aplicações para o material, entre as quais, copos de alumínio

anodizado, e uma cadeira de alumínio dobrável (Raizman, 2003, pp.308-309). Exemplos de aplicações deste material em mobiliário são a cadeira *Tulip* de Saarinen, fabricada pela Knoll em 1956; a cadeira *Barcelona* de Mies van der Rohe de 1929, na qual a Knoll substituiu o fabrico da sua estrutura em aço por alumínio (Raizman, 2003, p.319); e, em 1962, também Charles Eames aplicou o alumínio na solução de assentos *Tandem Sling* para terminais de aeroportos, fabricados por Herman Miller (Raizman, 2003, p.319).

Comparativamente com outras classes de materiais, os metais são rígidos e resistentes, sendo no entanto pesados; de um modo geral, as temperaturas de fusão são elevadas – algumas ligas podem suportar 2200° C; à excepção do ouro, todos os metais são quimicamente instáveis, pelo que são vulneráveis à corrosão, sendo esta evitada através de manutenção. Os metais são dúcteis, pelo que fáceis de conformar por diversos processos, são maquinados com precisão, e podem ser unidos de diversas formas. Estas características permitem uma flexibilidade no design, que só recentemente tem sido desafiada pelos plásticos. Os aços representam mais de 90% de todos os metais consumidos, e o alumínio é o segundo metal mais consumido. A produção primária de metais requer muita energia, nomeadamente a do alumínio; no entanto, quando reciclados, a quantidade de energia necessária é muito inferior (Ashby e Johnson, 2002, pp.183-184).

Desde a introdução do Bronze, a inovação nos metais tem sido importante em promover a inovação noutras áreas, situação que se manteve, essencialmente até à 2ª G. M.; a inovação intensificou-se entre 1840 e 1940 devido a melhoramentos nas propriedades, custo e disponibilidade dos materiais metálicos, o que permitiu inovações significativas em máquinas para produção, sistemas de transporte e comunicações, entre outras áreas tecnológicas (Burke, 1990, pp.381-382).

A tecnologia do ferro fundido (1620) estabeleceu a dominância dos metais como materiais de engenharia, sendo esta posição consolidada com os desenvolvimentos tecnológicos posteriores: os aços, a partir de 1850; as ligas leves, em 1940, e desde então outras ligas especiais (Ashby e Johnson, 2002, p.176). Desde o início da 2ª G. M. até pelo menos 1960, registou-se um grande aumento no desenvolvimento de novos materiais, na sua orientação para suprir necessidades específicas, e na investigação do seu comportamento. Este crescimento foi motivado, essencialmente, pela guerra; da colaboração de diversas áreas de conhecimento nesta época, surgiu o conceito de ‘ciência dos metais’, viabilizado posteriormente. Só mais tarde a natureza da investigação se expandiu ao que hoje conhecemos como ‘ciência dos materiais’ (Burke, 1990, p.382). Nos anos 60, “materiais de engenharia” significava “metais” (Ashby e Johnson, 2002, p.176); isto reflecte a importância tecnológica atribuída aos metais, e a sua dominância como material de engenharia.

### 2.2.3 A substituição da madeira na aviação

*«When people set their mind on something, it is extremely hard to make them reconsider. This, in brief, explains why metals took over from wood in the airplane industry in the period between the two world wars. Science historian Eric Schatzberg found that the main cause of metal supremacy in US aviation was an ideological choice. In fact it laid the basis for the current technological disadvantage of composites ... Schatzberg argues that the choice between either of the two was not based on rational arguments: 'In the 1920s, the technical evidence favoured wood nor metal overall. Technical criteria thus cannot explain the aviation community's enthusiastic support for metal construction. In addition to technical arguments, supporters of metal invoked a nontechnical rhetoric that linked metal with progress and wood with stasis.'»* (Beukers e Hinte, 1999, p.171 baseados e citando Schatzberg, 1994<sup>10</sup>).

No âmbito da construção de aviões, assinalam-se quatro factores que terão contribuído para a substituição da madeira por metais: segurança face ao fogo, peso, custos de produção e durabilidade; defende-se que a determinação destes factores não foi baseada em investigação, nem em experiência (Beukers e Hinte, 1999, p.171 baseados em Schatzberg, 1994):

No que respeita à segurança face ao fogo, o pressuposto de que os aviões metálicos seriam seguros não se verificou. Nos EUA, o primeiro avião comercial em uso foi o “German Junckers JL-6”; os serviços de correspondência aérea dos Estados Unidos compraram oito aviões destes, dos quais quatro foram destruídos pelas chamas, não porque se incendiassem, mas porque o sistema de combustível não funcionava devidamente, e a estrutura metálica não apresentava bons desempenhos face ao calor. Quanto ao factor peso, defende-se que foi necessário um enorme esforço para construir aviões metálicos suficientemente leves, e que a possibilidade de a estrutura ceder ou se deformar era um problema central na sua construção. Quando finalmente se resolveram os problemas estruturais, a produção dos aviões metálicos era muito mais dispendiosa, porque para resolver os problemas de cedência ou deformação da estrutura tiveram de ser criadas curvas complexas e muitas partes diferentes, unidas por inúmeros rebites. A razão pela qual a produção de aviões metálicos não foi abandonada, é atribuída à convicção de que com a produção em série estes se tornariam mais baratos. Acerca da durabilidade, salienta-se que de um modo geral, os metais são efectivamente mais duráveis do que a madeira, mas que ambos os materiais se deterioram quando não são protegidos. Defende-se que enquanto a durabilidade dos metais foi sujeita a um enorme esforço de desenvolvimento, a da madeira foi simplesmente abandonada, por este material não se enquadrar ideologicamente no modelo de desenvolvimento (Beukers e Hinte, 1999, p.171 baseados em Schatzberg, 1994).

---

<sup>10</sup> SCHATZBERG, Eric (1994), Ideology and technical choice: the decline of the wooden airplane in the United States, 1920-1945. *Technology and Culture* 35 (1), pp. 34-69.

*«Wood symbolized preindustrial technologies and craft traditions while metal represented the industrial age, technological progress, and the primacy of science.»* (Schatzberg, 1994 citado em Beukers e Hinte, 1999, p.171).

Neste contexto, identifica-se uma outra razão que justifica a preferência pelos metais: estes materiais comportam-se de acordo com regras científicas simples, enquanto a madeira não (Beukers e Hinte, 1999, p.171 baseados em Schatzberg, 1994). Portanto, uma outra razão pela qual os aviões de madeira foram substituídos pelos de metal, não foi por o desempenho dos primeiros ser inferior, mas porque o comportamento dos de metal era mais fácil de prever com métodos científicos; os metais são tão homogêneos que cálculos simples correspondem à realidade. A aplicabilidade de fórmulas ter-se-á tornado numa qualidade em si (Beukers e Hinte, 1999, p.162 baseados em Schatzberg, 1994).

*«At the end of his article the historian remarks: 'In recent years, nonmetallic materials have again found a place in airplane structures in the form of fibre-reinforced composites, of which wood is a natural example. Few aviation engineers, however, recognize the kinship between composite structures and the wooden airplanes of the past.'»* (Beukers e Hinte, 1999, p.171 baseados em Schatzberg, 1994).

*«Metals really gained their superiority by excellent reproducible mechanical properties. For composites something similar may occur because of their thermal and acoustic properties, or rather their ability to combine different functions. Metal airplane structures have to be made tons heavier just to compensate for acoustic effects, whereas composites can solve this problem by themselves. They can be tailored to requirements, which ironically appears advantageous in comparison with the uniformity and the predictability of metal.»* (Beukers e Hinte, 1999, p.164).

Também Ashby e Johnson (2002) observam que o domínio dos metais como materiais de engenharia tem sido suplantado por outros materiais, polímeros e cerâmicos, durante as últimas décadas (Ashby e Johnson, 2002, p.184).

O Mosquito, DeHavilland DH-98, é um avião constituído quase na íntegra por madeira. Como exposto por Markwardt (1989), este avião bombardeiro é um exemplo de sucesso de aplicação da madeira em transportes aéreos e foi desenvolvido durante a 2ª Guerra Mundial. Neste contexto a madeira foi seleccionada para encurtar o processo de desenvolvimento, desde as fases de design e prototipagem à produção, atendendo a que o protótipo era construído mais rapidamente em madeira; para utilizar outros recursos que não os metais, pois como materiais estratégicos, eram escassos em tempo de guerra e não podiam ser substituídos noutras aplicações; e para empregar outro tipo de mão-de-obra (Markwardt, 1989).

*«Wood construction, however, has demonstrated performance surpassing metals, and it was difficult to surpass the Mosquitos's speed.»* (Markwardt, 1989, p.236).

Da experiência de aviões precedentes sabia-se que uma estrutura de madeira em sanduíche seria suficientemente resistente quando conformada, pelo que a fuselagem foi desenvolvida em forma de concha, e as duas metades, direita e esquerda, unidas posteriormente. A espessura da concha era de 16 mm, sendo a sanduíche constituída por camadas interiores e exteriores de contraplacado e um núcleo de balsa, resistindo a grandes forças de compressão. A sua leveza constituía uma vantagem adicional, atingindo uma velocidade de 668 km/h. A utilização de madeira foi determinada para suplantar necessidades específicas de escassez, mas a construção consequente revelou que as propriedades da madeira podem ser exploradas eficientemente. No que respeita à durabilidade do avião, foi aplicado um revestimento de tecido no exterior, pelo que, em exposição a diferentes condições climáticas, não foram registados sinais de deterioração durante seis anos (Markwardt, 1989).

#### **2.2.4 Ideologia e selecção de materiais**

Antes da Revolução Industrial, as actividades de produção e comerciais eram frequentemente realizadas em casa, sendo esta entendida como um local em que se trabalhava, vivia, comia e dormia. No entanto, com a passagem do trabalho para as fábricas, oficinas e lojas, a casa /lar transformou-se num local essencialmente dedicado ao lazer e às diversas actividades domésticas (Forty, 1986, pp.99-100). Por um lado, o local de trabalho foi fisicamente separado do lar; por outro, as condições opressivas das diversas actividades eram tais, pelo menos para a grande maioria, que acentuavam a separação do trabalho e do lar, transformando este último numa espécie de céu, um lugar pessoal por excelência, onde se procurava recuperar o auto-respeito perdido no local de trabalho (Forty, 1986, p.100). O lar passou então a ser percebido como um repositório das virtudes perdidas ou negadas no mundo exterior. Para as famílias da classe média do século XIX, o lar representava sentimentos, sinceridade, honestidade, verdade e amor (Forty, 1986, p.101). Uma das formas de distinguir o ambiente do lar do ambiente do trabalho, foi transformá-lo na antítese<sup>11</sup> do último (Forty, 1986, p.102):

*«Out of the desire to make the home everything that the office was not has come a regular interaction between the designs of furnishings for each. Until well into the twentieth century, offices were austere furnished in utilitarian colours with hard surfaces, and people sought to make their homes colourful, soft and plushy. Recent attempts to introduce some of*

---

<sup>11</sup> No entanto, Forty salienta que a prossecução de uma antítese, não constitui em si, um modelo aplicável ao design de interiores domésticos (Forty, 1986, p.103).



*the comforts of the home into offices have made the distinction less clear cut. It is in this context that some designers have take the perverse step of imitating the hard, metallic finishes of industrial environments for domestic interiors in a style that has become known as 'high-tech'. It seems unlikely, however, that this style of domestic furnishing will ever appeal to more than the tiny professional and commercial elite whose choice of imagery related to the factory seems mainly determined by their wish to distinguish their homes from those of the working class, which remain furnished as the antithesis of the workplace.» (Forty, 1986, pp.102-103).*

Durante o século XIX as casas aristocratas eram o principal modelo de um espaço de lazer, pelo que, até cerca de 1860, as classes médias europeias e americanas procuravam imitar a sua decoração (Forty, 1986, p.104). No final do século XIX, a beleza era o principal conceito através do qual o lar realizava o seu papel de lugar sagrado; entre outras características, este ideal de beleza incluía o conforto, e a satisfação estética dos sentidos; mas, acima de tudo, a beleza representava as virtudes morais de verdade e honestidade. Das responsabilidades atribuídas às mulheres em cuidar do lar, a prossecução da beleza era o aspecto mais enfatizado, dado o seu efeito moral nos membros da casa (Forty, 1986, p.113). Posteriormente o papel do lar voltou a mudar, passando de um lugar de beleza para um de eficiência, como discutido em Forty:

*«Over the last two centuries, homes have changed considerably, most obviously in their appearance. It is important to recognise that the changes have not only been physical, for homes, as well as being made of bricks and mortar, melamine and foam rubber, are also made of ideas. Perhaps the most important change within the last century in the ideas constituting the home has been the shift from its role as a source of moral welfare to one of physical welfare, represented in visible terms by its turning from a place of beauty into one of efficiency.» (Forty, 1986, p.108).*

O lar do século XX seguiu o modelo do século anterior em alguns aspectos, como a separação física e emocional do trabalho; no entanto, surgiram diferenças na sua aparência e organização, em consequência de uma mudança de valores (Forty, 1986, p.113).

Distinguem-se duas questões no âmbito da eficiência doméstica: a eficiência higiénica, e a eficiência do trabalho doméstico (Forty, 1986, p.117). A visão do lar do século XIX como um lugar de beleza e virtude espiritual foi substituída pela ideologia de uma casa cuja principal função passou a ser a de proporcionar bem-estar físico e saúde. Na literatura do século XX acerca do lar, as preocupações de maternidade, crianças e higiene substituíram as instruções de costura e as virtudes cristãs; esta mudança ocorreu durante as duas primeiras décadas do século XX, em ambos os lados do Atlântico (Forty, 1986, p.114). Considera-se que a generalizada preocupação política com os padrões de domesticidade, colocou uma grande responsabilidade nas famílias; esta expressão da higiene foi mais acentuada no período entre as guerras (Forty, 1986, p.116).

Forty discute o exemplo de uma casa de banho apresentada num catálogo de 1935, em que as considerações acerca da higiene eram calculadas para apelar ao consumidor:

*«No bathroom has to look like this; indeed, bathrooms before and since have not. But here, the white enamel bathtub and basin, the tiled walls and the chromium fittings, all with hard, bright finishes, made a virtue of cleanliness.»* (Forty, 1986, p.117).

Defende-se que este imaginário da higiene correspondia e reforçava as crenças dos consumidores, de que a limpeza física e a eficiência eram as principais aspirações a alcançar (Forty, 1986, p.117). A transformação das casas de banho ocorreu a partir do século XX; estas adquiriram uma grande importância no combate à sujidade e doença, o que teve consequências no âmbito dos materiais utilizados (Forty, 1986, pp.166-167), e que se pode observar nas imagens seguintes:



Figura 1 – Casa de banho com madeira, 1895, Forty, 1986, p.166.

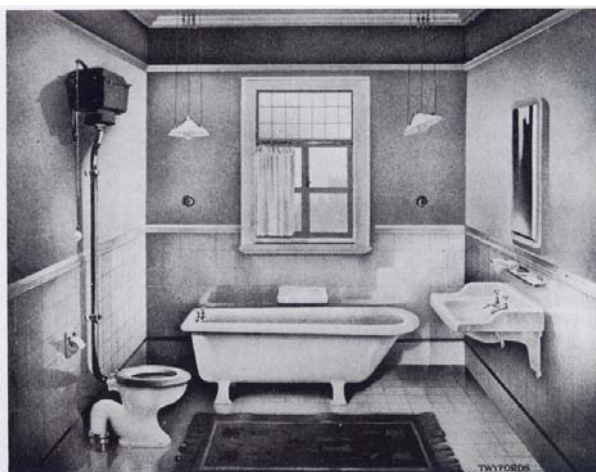


Figura 2 – Casa de banho sem madeira, 1911, Forty, 1986, p.167.

Em Forty expõem-se ainda o seguinte:

*«There is no room where cleanliness and neatness are more necessary... No bath should be fixed except in such a way that every part, underneath or at sides, can be easily got at and cleaned. Woodwork, whether as a rim to the bath or as a casing around it, is to be avoided at all costs....»* (Forty, 1986, p.167 citando *Harmsworth's Household Encyclopaedia*, Vol.I, 1923, p.240).

A partir de 1900 deixou de se utilizar a estrutura de madeira nas banheiras (Forty, 1986, p.167). Relativamente a outras divisões da casa, defende-se que a substituição generalizada de tons castanhos e vermelhos por branco na decoração interior, a partir do final do século XIX, ocorreu, pelo menos em parte, devido ao desejo de alcançar uma maior limpeza no lar (Forty, 1986, p.159).

Em 1935, o designer industrial Raymond Loewy desenhou um novo frigorífico, o 'Coldspot'; Forty expõe também um frigorífico anterior, integrado num armário de madeira; refere-se que este último não transmitia a imagem ou percepção de limpeza e higiene. (Forty, 1986, p.156).

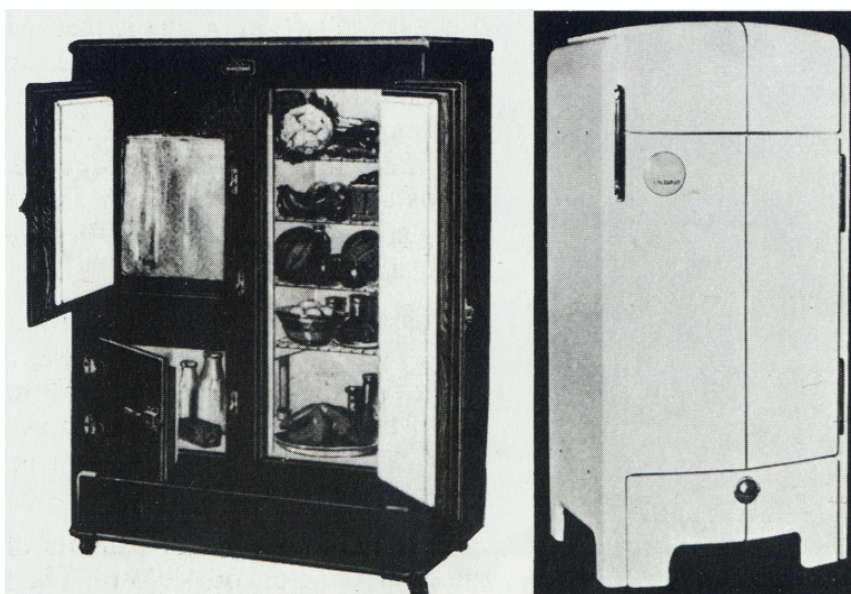


Figura 3 – Esquerda: o frigorífico Leonard, 1929; Direita: o frigorífico Sears Roebuck Coldspot, design de Raymond Loewy, 1935, Forty, 1986, p.156.

Observa-se, que num frigorífico como o 'Coldspot' de Loewy, a brancura prístina e o acabamento sem interrupções, garantia que qualquer nódoa seria imediatamente removida. Considera-se que a aparência do 'Coldspot', tal como a de inúmeros outros electrodomésticos e artefactos, reflectem os ideais de limpeza e higiene que surgiram na 1ª metade do século XX (Forty, 1986, p.170). Desde 1930, a estética da limpeza passou a ser a norma no ambiente doméstico; a exposição da limpeza foi adoptada como a aparência própria dos mais diversos equipamentos domésticos (Forty, 1986, p.156). Salienta-se que estes ideais de limpeza e higiene também se reflectiram no design; estas preocupações encontram-se, nomeadamente, em Le Corbusier (Forty, 1986, pp.156-157).

*«The idea that cleanliness might be beautiful took hold with such force that every new product that purveyed an appearance of hygiene was felt by consumers to be fulfilling a genuine need: far from being hard to adapt to, cleanliness was an aesthetic that satisfied many desires.» (Forty, 1986, p.180).*

Considera-se que também os ambientes de trabalho foram influenciados por esta “estética da higiene”:

*«...office desks stood on legs to make cleaning beneath them easier, and one of the main arguments for steel furniture in offices was the ease with which it could be cleaned. In the 1920s, the pursuit of absolute cleanliness appeared also in the more advanced designs for domestic furniture. Chromed steel and glass were welcomed not just because of their associations with machines, but also because they could easily be kept clean, and, above all, could look absolutely spotless.» (Forty, 1986, p.173).*

No que respeita à eficiência do trabalho doméstico, uma das facetas desta política foi transformar as tarefas domésticas num trabalho sistemático; paralelamente, começaram a ser introduzidos os primeiros electrodomésticos (Forty, 1986, pp.117-118). Forty defende que no âmbito da adopção destes equipamentos, as indústrias dos electrodomésticos beneficiaram da pressão existente para se alcançar uma maior eficiência na realização das tarefas domésticas:

*«It is clear from the advertising for domestic appliances that manufacturers took advantage of the heightened sense of domestic responsibility. Increased efficiency was also expressed in the design of furnishings and of houses themselves: the ‘labour-saving house’, a cliché of the 1920s, was not only a response to the perceived shortage of servants, the so-called ‘servant problem’, but also to the demands of national efficiency. The recurrent features of the labour-saving house – hot and cold running water on all floors, dumb waiters and no dust-catching mouldings – were all means of reducing domestic work and so of enabling more human resources to be devoted to the major problem of physical welfare. By the 1950s, many of these features, as well as the values they represented had become normal and part of the accepted standards of domestic design.» (Forty, 1986, p.118).*

Em 1920, a organização do trabalho nos grandes escritórios americanos era gerida sob princípios científicos, pelo que o trabalho nestes lugares era idêntico ao de muitas fábricas; a diferença seria o produto obtido, palavras e números em folhas de papel (Forty, 1986, p.124). Até cerca de meados do século XX, a maioria dos equipamentos de escritório tinha uma aparência mecânica e industrial: a sua forma geral resultava essencialmente de considerações mecânicas; o mecanismo era exposto e suportado por uma estrutura tubular pintada de preto (Forty, 1986, p.133).

Acerca desta estética industrial Forty observa o seguinte:

*«The widespread use of steel for office furniture on the grounds that it was more durable than wood (a questionable argument, since it was true of the material but not of the finish, which was easily scratched or chipped) had the effect of making the office more and more closely resemble a factory. To the theorists of scientific management, this association had great attractions, for it provided visible proof that their methods and analysis applied universally to all kinds of work, regardless of the social pretensions of the workers. The industrial appearance of office furniture and equipment in the inter-war years was not, as has been suggested, the result of an absence of design, or of the failure to conceive of any alternative image, but rather expressed a deliberate intention to associate office and factory.» (Forty, 1986, p.132).*

Excepções a esta estética industrial eram as máquinas de ditar, usadas pessoalmente pelos executivos; estas eram integradas em peças de mobiliário, e tinham uma expressão decorativa e acabamentos de elevada qualidade, superiores às de qualquer outra peça de equipamento de escritório (Forty, 1986, p.138).

Durante as décadas de 50 e 60 ocorreu uma mudança radical no ambiente de escritório e respectivos equipamentos; a decoração de muitos escritórios passou a ser idêntica à das casas contemporâneas dos mais abastados. Considera-se que o principal factor que contribuiu para esta transformação do escritório foi a mudança no mercado para o trabalho de escritório, devido à falta de trabalhadores (Forty, 1986, p.140). As máquinas de escrever são um exemplo dos equipamentos transformados: até 1950 a sua aparência havia mudado pouco, mas a partir de então, os fabricantes passaram a produzi-las em cores claras, e a esconder o mecanismo numa caixa metálica (Forty, 1986, p.152).

*«Duplicating machines, adding machines, addressing machines and even staplers have all received cosmetic treatment, normally by being enclosed in pressed steel or moulded plastic covers and given bright or light colours. Advertising has played less and less on the cost-cutting, labour-saving aspects of the machines and has emphasised instead what a pleasure it is to work in the company of such attractive objects. All this has minimized the effect of working in a factory and increased the sense of being engaged in a enjoyable activity.» (Forty, 1986, p.154).*

Mais recentemente surgiu uma nova imagem 'high-tech' não relacionada com o mundo industrial, mas antes com a exploração espacial, e de que surgiram novas referências visuais; o acabamento em preto deixou de estar associado às condições de trabalho industriais, e passou a simbolizar prestígio e sofisticação (Forty, 1986, pp.153-154).

A respeito do papel das ideias no design Forty expõe o seguinte:

*«Wherever the ideas embedded in manufactured goods came from, they are just as important in design as the more objective factors such as the price of labour or the availability of materials. The role of ideas, other than purely artistic ones, has not usually been given much weight in discussions of design. When it has been acknowledged, the ideas have generally been referred to as influences, a description that belittles their importance and fails to make clear how central they are. Without the existence of certain ideas about the nature of domestic life and the part that appliances might play in it, none of the products discussed in this chapter could have been designed. Despite the existence of capital, labour, machines and materials with which to make them, and a market to sell them to, it is only ideas that have allowed any of the products to progress beyond a shapeless heap of raw materials. The capacity of design to create form occurs only through the conjunction between ideology and material factors: if either is absent, the union cannot take place.»* (Forty, 1986, p.221).

Segundo Forty, o sucesso do capitalismo tem dependido da capacidade em inovar e em vender novos produtos; no entanto, na maioria das sociedades capitalistas, observa-se uma resistência à introdução da novidade. Defende-se que o design, pela sua capacidade de transformar a aparência do que nos rodeia, e de consequentemente alterar a forma como diversos produtos são percebidos, é uma das formas de alcançar a aceitação do novo (Forty, 1986, p.11).

Distinguem-se três abordagens frequentemente utilizadas em design industrial para o efeito, e que se considera estarem já estabelecidas como um repertório do imaginário de design: o recurso ao passado, a supressão, e a utilização de utopias (Forty, 1986, p.11). Forty utiliza o rádio para exemplificar estas estratégias de design, e em que inclusive se utilizaram as três abordagens<sup>12</sup>; considera-se que no período entre guerras, o rádio era o principal símbolo de mudança social baseada no progresso tecnológico (Forty, 1986, p.204).

Quando a emissão de rádio começou na década de 20, os primeiros aparelhos eram montagens rudes de resístores, arame e válvulas; o mecanismo era visível. Os produtores perceberam rapidamente, que para venderem rádios que iriam ser utilizados nas salas de estar, teriam de desenvolver uma abordagem de design mais sofisticada; entre o final da década de 20 e o início da seguinte surgiram três soluções: a primeira consistiu em alojar o rádio numa peça de mobiliário antiga, com referências ao passado; a segunda estratégia foi a de ocultar o rádio numa peça de mobiliário com uma função totalmente diferente, por exemplo, num cadeirão; a terceira constituiu em conferir ao rádio uma aparência associada ao futuro e a um mundo melhor, através da sua integração numa peça de mobiliário “moderna”, desenhada para o efeito. No caso do rádio

---

<sup>12</sup> No entanto, considera-se que o autor não tem intenção de demonstrar uma correlação, sequência ou concurso das três abordagens num mesmo produto ou aplicação.

foi esta a forma que se tornou dominante, sendo amplamente adoptada à medida que as pessoas se familiarizaram com a nova tecnologia, inicialmente perturbadora (Forty, 1986, pp.11-12).

No âmbito da 3ª etapa, futurista, inicialmente desenvolveram-se rádios modernos em madeira (Forty, 1986, p.203), e posteriormente foi adoptada a baquelite. Os primeiros rádios de baquelite tinham uma forma idêntica aos de madeira (Forty, 1986, p.204); com o rádio AD 65 de 1934, Wells Coates introduziu uma inovação formal; o seu rádio já não apresentava qualquer semelhança com o mobiliário, e a sua realização seria inclusive impraticável em madeira (Forty, 1986, p.205).

Forty observa ainda, que durante o século XX, esta forma utópica de apresentação do novo foi frequentemente utilizada, enquanto que no século XVIII se recorria ao modelo do passado para ultrapassar a resistência à inovação (Forty, 1986, p.12), e de que é um exemplo a utilização do revivalismo neoclássico utilizado por Wedgwood nos seus produtos cerâmicos (Forty, 1986, pp.13-28).

*«The use of imagery to make products appear 'ahead of their time' has been a recurrent and at times thoroughly monotonous feature of twentieth-century design. The reasons are not hard to see for the appeal is exactly the same as that on which all millenarian religions have been based. The attractions of a future from which all present ills will have been eliminated are overwhelming; furthermore it is emotionally very much easier to live in the past or the future than it is to live in the present. The discovery by twentieth-century manufacturers that one of the most effective ways to stimulate the desire for commodities was to suggest that they were the key to a clean, harmonious and comfortable way of life would have come as no surprise to any nineteenth-century revivalist preacher. What, however, would have been a surprise was the entirely novel way in which designers were able to make inanimate objects convey this message without the assistance of words or pictures. The success of design in using the imagery of science and technology to convey a vision of a future free from discomfort and anxiety has been one of the stranger phenomena of twentieth-century society.»* (Forty, 1986, p.206).

## **2.3 Materiais Plásticos**

### **2.3.1 A emergência dos plásticos**

As primeiras tentativas de obter polímeros sintéticos tiveram início em meados do século XIX; em 1870 obteve-se o primeiro plástico comercializado com sucesso, a celulóide. Este material era altamente inflamável, e em 1901 foi introduzida a baquelite, uma resina termoendurecível, para substituir a celulóide (Westbrook, 1990b, p.431). Até então havia pouco conhecimento acerca da composição e estrutura interna dos polímeros naturais e sintéticos; esta situação alterou-se a

partir de 1900, e em 1920, Staudinger determinou a estrutura em cadeia que caracteriza os polímeros; a partir de então desenvolveram-se as diversas técnicas de obtenção dos polímeros (Westbrook, 1990b, p.431).

A introdução de alguns polímeros importantes antes da 2ª G. M., possibilitou inovações tecnológicas importantes; no entanto, a grande maioria da produção destes materiais foi essencialmente aplicada na substituição de outros, como fibras naturais, madeiras e metais (Burke, 1990, p.382). A seda constitui um exemplo de um material em que os plásticos foram utilizados em substituição: a seda foi descoberta pelos chineses em cerca de 6000 a.C. ; o conhecimento da sua existência terá sido trazido para a Europa por Alexandre O Grande, em cerca de 320 a.C. ; no entanto, os chineses mantiveram o segredo e o monopólio desta fibra natural, até cerca de 600 d.C. A primeira fibra sintética foi uma seda artificial, a nitrocelulose, desenvolvida pelo Conde Hilaire de Chardonnet, e patenteada em 1884 (Westbrook, 1990a, p.418).

A utilização de polímeros expandiu-se a partir da 2ª G. M., e em 1990, a sua produção em volume era já superior à dos materiais metálicos. A importância económica destes materiais é substancial; considera-se, que o baixo custo da matéria-prima, a possibilidade de obter uma multiplicidade de materiais com diferentes propriedades, e a facilidade em produzir formas complexas e acabadas a mais baixo custo do que nos outros materiais, são as principais características que determinaram o explosivo crescimento da sua aplicação (Burke, 1990, pp.384-385).

### **2.3.2 Caracterização geral e propriedades dos plásticos**

Actualmente, quase todos os polímeros utilizados são obtidos a partir do petróleo, mas não têm de o ser; a madeira, a lã e o couro, são exemplos de materiais naturais que integram substâncias poliméricas; os polímeros são constituídos pelos átomos mais simples, entre os quais, carbono, hidrogénio e oxigénio (Ashby e Johnson, 2002, p.177). Existem dois grupos básicos de polímeros, os termoplásticos e os termoendurecíveis: os primeiros amolecem sob a influência do calor; os segundos resultam de uma reacção química irreversível (Beukers e Hinte, 1999, p.76).

Como os materiais termoplásticos amolecem quando aquecidos, e endurecem novamente para o seu estado natural quando arrefecidos, podem ser moldados em formas complexas; na sua maioria, os termoplásticos podem ser reciclados (Ashby e Johnson, 2002, pp.177-178). A cadeira 'Polyprop' de Robin Day, desenvolvida entre 1962 e 1963, constitui um exemplo de aplicação em série de um material termoplástico, o polipropileno, e da utilização do processo de injeção, ambos recentemente desenvolvidos na altura (Fiell, 1997, pp.386-387; Raizman, 2003, pp.316-318).

Os materiais termoendurecíveis são obtidos por uma reacção química, a polimerização, pelo que, quando reaquecidos não amolecem, degradam-se; estes materiais não podem ser reciclados. O primeiro material termoendurecível comercializado foi a baquelite, uma resina fenólica. Os materiais termoendurecíveis têm uma estabilidade dimensional superior à dos termoplásticos, pelo



que são utilizados em aplicações de elevado desempenho, nomeadamente, quando é necessário resistir a elevadas temperaturas. Na sua maioria são duros e rígidos, mas podem ser maleáveis e flexíveis sob a forma de elastómeros (Ashby e Johnson, 2002, p.178).

Esta classe de materiais termoendurecíveis, os elastómeros, distingue-se de qualquer outra classe de sólidos pelas suas propriedades elásticas; possuem memória de forma, pelo que depois de esticados, retomam a forma inicial. Como estes materiais são termoendurecíveis, não podem ser reciclados; no entanto, existe uma situação compósita em excepção, que reside na co-polimerização de moléculas de elastómeros com polipropileno, um termoplástico, e que permite a reutilização do material (Ashby e Johnson, 2002, p.179). Um aspecto importante no âmbito destes materiais foi o desenvolvimento da borracha sintética mesmo antes da 2ª G.M., sendo mais um exemplo em que o desenvolvimento foi motivado pela escassez; neste caso, o seu fornecimento foi ameaçado:

*«The threat of the cut-off of Far Eastern natural rubber supplies by the Japanese caused the US government to fund a forced draft development of a synthetic rubber industry based on the styrene-butadiene formulation. By 1957 an annual production of 10<sup>6</sup> t was achieved, far surpassing natural rubber and the other synthetics.»* (Westbrook, 1990b, pp.431-432).

Entre as características dos primeiros plásticos distinguem-se: desempenhos mecânicos e térmicos modestos; excelente e económica capacidade de serem trabalhados; boa resistência a várias agressões químicas e físicas; fraca resistência ao esforço; óptima resistência eléctrica; boa capacidade de isolamento térmico; e muito baixa condutibilidade térmica e eléctrica. Estas características potenciaram a sua aplicação inicial, essencialmente em duas áreas: em utilizações volumétricas e decorativas, em que não são necessários desempenhos mecânicos e térmicos elevados, e em que a sua formabilidade, baixo custo, e excelentes capacidades miméticas, tornaram os plásticos em materiais perfeitos para imitar e substituir; por outro lado, como materiais isoladores por excelência, passaram a ser amplamente utilizados em equipamentos eléctricos. Até aos anos 70 começaram ainda a surgir outras aplicações para os plásticos, em embalagens, e através de algumas experiências, em mobiliário e construção (Manzini, 1986, p.73).

Com o aparecimento de novos métodos de transformação, novos acabamentos das superfícies, novos polímeros e aditivos, foi possível obter novos e múltiplos equilíbrios entre o desempenho e propriedades destes materiais; portanto, durante a década de 70, a sua aplicação expandiu-se a áreas estruturais, tradicionalmente ocupadas pelos metais e madeira, nomeadamente em mobiliário, componentes para a construção civil, reservatórios, tubagens, corpos de electrodomésticos, e embalagens rígidas (Manzini, 1986, pp.73-74). Desde a década de 80, os plásticos têm sido utilizados em aplicações com desempenhos técnicos cada vez mais exigentes, competindo com os metais inclusive no sector automóvel, um sector tradicional da cultura do metal (Manzini, 1986, p.74).

Com a introdução de plásticos transparentes, surgiu no sistema de objectos a “estética da transparência” nomeadamente em mobiliário, e uma “estética do visível”, iniciada por Franco Albani em 1938 com um rádio de vidro, em que os mecanismos de diversos objectos são visíveis (Manzini, 1986, p.185). Com a melhoria dos seus desempenhos, os plásticos passaram a competir com o vidro em todas as áreas (Manzini, 1986, p.173).

*«A introdução de plásticos na produção de objectos transparentes abriu ao vidro uma dimensão quase desconhecida: a liberdade da forma. Apesar da habilidade de alguns artesãos permitir obter com o vidro as formas mais fantásticas, tratava-se sempre de casos excepcionais. O vidro, que com o tempo se tornou de utilização corrente e um produto fabricado industrialmente, tem formas simples, planas ou ligeiramente curvas. Os plásticos, por outro lado, não só podem com facilidade dar origem a formas complexas, mas devem fazê-lo frequentemente, de modo a compensar as suas propriedades mecânicas, que estão longe de ser excepcionais.»* (Manzini, 1986, p.181).

Como os materiais plásticos são fáceis de moldar, permitem formas integradas que em outros materiais só são alcançadas através de construções dispendiosas (Ashby e Johnson, 2002, p.180); esta adaptabilidade de forma dos materiais plásticos permitiu ainda a integração de várias funções numa mesma peça, um outro factor importante, que contribuiu para o sucesso destes materiais em aplicações técnicas (Manzini, 1986, p.44). Uma outra vantagem dos materiais plásticos é o facto de as peças saírem acabadas, ou quase, do molde, evitando operações posteriores de acabamento. Outra característica interessante de alguns materiais plásticos é ainda o facto de permitirem reproduzir com precisão elementos da superfície do molde, proporcionando assim a conferência de texturas diversas às peças (Manzini, 1986, pp.194-195). Defende-se que a expansão dos plásticos *«...foi uma das principais forças dinamizadoras da revolução dos materiais a que assistimos durante as últimas décadas.»* (Manzini, 1986, p.72).

A Arte Déco foi o primeiro movimento artístico a utilizar (expressivamente) polímeros, e a baquelite o primeiro plástico comercial em que se puderam obter diversas cores e texturas, pelo que se revelou ideal para as formas curvas da Arte Déco, formas estas que dificilmente se poderiam obter em madeira. Distinguem-se dois tipos de manifestação deste movimento, e em que se utilizam materiais diferentes: nos produtos de consumo, produzidos em série e baratos, de que é um exemplo o rádio portátil, eram utilizados plásticos, bem como aço e alumínio com acabamentos cromados. Num outro extremo, em salões de navios e hotéis de luxo, eram utilizadas madeiras duras exóticas, couro, marfim, vidro e bronze; este era o ambiente decorativo dos mais ricos. De um modo geral, considera-se que as associações da Arte Déco são as de um luxo cosmopolita, progresso industrial, poder, fé na tecnologia, e futurismo (Ashby e Johnson, 2002, p.112).

Ashby e Johnson expõem a evolução da utilização de materiais nas máquinas fotográficas: as primeiras máquinas eram feitas de madeira, latão, couro e vidro; refere-se que estas têm um certo

estilo, relacionado com o fabrico de mobiliário e a produção artesanal. Lentamente, as máquinas fotográficas transformaram-se em objectos de arte, negócio e ciência, evoluindo até se tornarem em instrumentos científicos, em que a sua ênfase era essencialmente funcional, sendo o apelo visual menos importante; os materiais escolhidos para estas máquinas eram essencialmente os metais, atendendo a que eram duráveis e enfatizavam uma qualidade concebida. Posteriormente, com a saturação do mercado, surgiram outras variantes: a máquina descartável, feita de papel; máquinas em miniatura, em polímeros metalizados; e, entre outras, máquinas à prova de água, em que se utilizam diversos polímeros. Considera-se que a diferenciação dos produtos através de inovações técnicas está frequentemente relacionada com mudanças nos materiais (Ashby e Johnson, 2002, p.20).

### **2.3.3 Estética e significados dos plásticos**

Atendendo a que os plásticos abrangem inúmeras opções, técnicas e estéticas, considera-se que estes materiais tenderam a perder o seu significado (Manzini, 1986, p.72), ou mesmo que têm um problema de identidade (Beukers e Hinte, 1999, p.147). Estes materiais foram utilizados desde cedo em imitação de outros, entre os quais o marfim e a madeira (Beukers e Hinte, 1999, p.147; Manzini, 1986, p.195 e p.198), sendo a aparência desta reproduzida pelos plásticos, nomeadamente, no interior de automóveis (Manzini, 1986, p.198). No entanto, a tradição dos plásticos é também rica na expressão não imitativa, em que se representam texturas diversas, livres ou geométricas (Manzini, 1986, p.195); defende-se que os plásticos, tal como os outros materiais, também têm propriedades estéticas próprias, bem como os materiais compósitos; os polímeros reforçados com fibras de carbono são por vezes imitados no acabamento de peças metálicas (Beukers e Hinte, 1999, p.147).

As atitudes e percepções dos polímeros têm mudado: nos anos 30, já a baquelite estava estabelecida, foram introduzidos novos materiais – celofane, PVC, PS, plexiglás e nylon, cujas propriedades de cor e liberdade de forma inspiraram jovens designers. Nos anos 50 os materiais plásticos eram já abundantes e baratos; o baixo custo dos materiais e do seu processamento esteve na origem de uma época de produtos de plástico baratos, com um design pobre e descartáveis, que denegriam a imagem dos plásticos. No entanto, desde os anos 70, a utilização de polímeros de elevada qualidade em diferentes aplicações, como roupa, calçado, produtos domésticos e sistemas de transporte, criou um mercado para designers inovadores que exploram as diversas propriedades técnicas e estéticas dos polímeros modernos. E a combinação destes materiais com fibras e enchimentos produziu materiais compósitos leves, com resistência e rigidez comparáveis às dos metais, permitindo a penetração destes materiais nos sectores automóvel, aeroespacial e naval (Ashby e Johnson, 2002, p.180).

*«...in the Yelling Sixties. Industrial designers and architects started to discover the endless possibilities and began to experiment with polyester and rubbery polyurethane. They*

*made the first inflatable chairs and pneumatic buildings and the first one piece injection moulded plastic furniture. It was a colourful feast of plastic expression that slowly ebbed away. Plastic gradually got a bad name among designers, because many plastic products were of inferior quality, partly due to lack of knowledge and partly to disinterest among producers. Moreover the environment changed from something we took for granted into something that one had to take care for. Much of the ever growing flow of waste consisted of plastics, for despite their bad image plastics and their markets kept on growing.» (Beukers e Hinte, 1999, p.147-148).*

Num estudo realizado acerca da experiência sensorial e cultural de alguns objectos de plástico, Fisher (2004) identificou que o discurso dos participantes se integrava essencialmente em três grupos: modernidade /progresso, autenticidade /imitação, e saúde /higiene (Fisher, 2004, p.23). Fisher observa que os materiais plásticos se transformam com o uso, de que são exemplos a sujidade entranhada num teclado de computador (Fisher, 2004, pp.20-21), ou os indícios visuais e olfactivos num Tupperware usado (Fisher, 2004, p.28). Segundo Fisher, os plásticos terão uma natureza dúbia, atendendo a que nestes materiais coexistem diferentes percepções: quando novos, os objectos de plástico são desejáveis; mas quando usados, tornam-se desagradáveis e convidam à sua deposição. Considera-se que o envelhecimento dos plásticos é um aspecto crítico do seu desempenho estético e cultural (Fisher, 2004, p.30):

*«Plastics cease to be pristine, and become evidently worn, in a particular way. They do not patinate; they gather dirt rather than “charm”, and then may elicit particularly strong feelings of disgust.» (Fisher, 2004, p.30).*

#### **2.3.4 Plásticos e ambiente**

O facto de os polímeros terem origem no petróleo, e de serem difíceis de tratar no fim do seu ciclo de vida – eles não se degradam facilmente, tem suscitado preocupações quanto ao impacto ambiental da sua utilização (Ashby e Johnson, 2002, p.180). No entanto, considera-se que a utilização de petróleo para o fabrico de polímeros, é uma utilização primária mais eficiente do que utilizar o petróleo para a produção de energia directamente, na medida em que a energia pode ser recuperada no fim do ciclo de vida do material (Ashby e Johnson, 2002, p.181; Wim Hafkamp *in* Beukers e Hinte, 1999, p.112). Por outro lado, existem alternativas ao petróleo: a matéria-prima dos polímeros pode ser obtida através de produtos agrícolas, nomeadamente o amido e açúcar. Os polímeros biodegradáveis, entre os quais os obtidos a partir de subprodutos agrícolas como a lenhina, representam uma nova geração de produtos amigos do ambiente, e estão a ser desenvolvidos polímeros com maior estabilidade térmica, rigidez e resistência (Ashby e Johnson, 2002, p.181).

## 2.4 Materiais Compósitos

A madeira é um exemplo de um material compósito natural; foi com esta que o homem construiu os primeiros arcos e rodas, e de cuja evolução surgiram alguns dos primeiros materiais compósitos fabricados pelo homem. No entanto, tal como os outros materiais, também os compósitos desenvolvidos durante o século XX substituíram a madeira em diversas aplicações: a fibra de vidro, desenvolvida para aplicação em aviões, substituiu rapidamente a madeira em cascos de barcos e pranchas de surf, encontrando ainda outras aplicações, como as cadeiras de Charles e Ray Eames dos anos 50 (Ashby e Johnson, 2002, p.161).

### 2.4.1 Compósitos – Antiguidade

A utilização de materiais compósitos data pelo menos dos tempos dos nómadas mongóis, cujos arcos eram compostos por madeira, tendão, e cola de origem animal (Westbrook, 1990b, p.432). Os primeiros arcos seriam apenas uma régua de madeira, particularmente elástica; estes terão progressivamente evoluído para um objecto compósito, muito eficiente e sofisticado, constituído por um núcleo de madeira, coberto com tendão na face convexa, e por chifre na côncava (Manzini, 1986, p.147). Supõe-se que os arcos compósitos terão surgido no Oriente e Médio Oriente há cerca de 5000 anos, sendo certo que existem desde 1400 a.C. (Beukers e Hinte, 1999, pp.84-85); o arco compósito atingiu a perfeição em cerca de 200 a.C., e não se transformou até ao século XIX, altura em que se tornou obsoleto como arma de guerra (Beukers e Hinte, 1999, pp.85-86). O arco compósito pode ser considerado uma grande proeza na procura de potência e leveza (Beukers e Hinte, 1999, p.86). Também Manzini observa os elevados desempenhos dos arcos compósitos da antiguidade:

*«As capacidades técnicas e de observação, concentrando-se na necessidade de melhorar os desempenhos de um objecto de importância vital, conseguiram produzir um compósito com propriedades especificamente criadas para determinadas aplicações: o conjunto tendão/ madeira /chifre é bastante semelhante a algo feito sob medida, produzido propositadamente para desempenhos de nível muito elevado.»* (Manzini, 1986, p.147).

A madeira é ainda utilizada no moderno arco desportivo; as partes que flectem são feitas de um compósito de madeira e fibra de vidro (Manzini, 1986, p.148). Segundo Beukers e Hinte, os plásticos laminados com madeira são provavelmente a mais antiga forma de materiais compósitos avançados; a madeira era colada a materiais de origem animal como tendão e chifre, materiais que se comportam como termoplásticos, amolecendo com a aplicação de calor. Actualmente a madeira é ainda laminada com polímeros, de que é um exemplo a fórmica, constituída por camadas de madeira e uma de plástico fenólico no topo (Beukers e Hinte, 1999, p.73).

A roda é um outro exemplo de aplicação de materiais compósitos: os primeiros veículos terão evoluído da utilização de troncos, e as primeiras rodas seriam secções destes (Beukers e Hinte, 1999, p.95). A principal inovação, a roda com raios, terá surgido pouco antes de 2000 a.C; esta nova roda revolucionou o conceito de transporte, permitindo que os carros fossem puxados a uma velocidade muito superior (Beukers e Hinte, 1999, pp.96-97).

*«At the peak of the era of chariots, their construction had become quite sophisticated. We know from the excavation of Tutankhamon's grave, who died in 1352 BC at the age of 18, that the precision and refinement of chariot technology of that time is unsurpassed, even now. His six wagons – like today royalty was not satisfied with just one means of transportation – was made out of composite materials, like the bow. The Egyptians even succeeded in prestressing the rims, so as to make them less vulnerable to bumps in the ground.»* (Beukers e Hinte, 1999, p.97).

#### **2.4.2 Compósitos – caracterização e aplicações**

Na época moderna, a significativa utilização de materiais compósitos teve início nos anos 30, com a fibra de vidro. Actualmente existem diversos materiais compósitos, desde pneus automóveis de elevado desempenho a estruturas aeroespaciais, e são utilizadas combinações de diversos materiais. O principal atractivo da utilização de materiais compósitos, é a possibilidade de combinar um conjunto de propriedades que não se encontram num material homogéneo, e a versatilidade em os adaptar a partes específicas de uma aplicação. Os mercados iniciais de aplicação dos materiais compósitos, foram os de equipamentos desportivos e aplicações militares, mas com a redução dos custos difundiram-se em mercados civis, particularmente no sector dos transportes. Em 1980, foi utilizado mais de 1 Mt de plástico reforçado com fibra de vidro (Westbrook, 1990b, p.432).

De um modo geral, os materiais compósitos são difíceis de processar e exigem muita mão-de-obra (Ashby e Johnson, 2002, p.183). No entanto, existe uma grande diversidade de compósitos e diferentes métodos para os processar: os compósitos reforçados com fibras contínuas de vidro e carbono são os que apresentam melhores desempenhos; no entanto, em usos comuns utilizam-se estas fibras de modo não contínuo, bem como outras partículas como areia de sílica, talco e madeira moída. Estas são as mais amplamente utilizadas, e por vezes nem nos apercebemos que se trata de materiais compósitos (Ashby e Johnson, 2002, p.182). Como exposto por Beukers e Hinte, as propriedades dos plásticos melhoram quando se misturam partículas: os glóbulos de madeira ou vidro tornam os compósitos mais leves, e a adição de partículas cerâmicas ou de fibra de vidro conferem rigidez e resistência ao calor. Mais recentemente, têm sido utilizadas partículas de barro extremamente finas, nos designados “nanocompósitos”. Estes compósitos termoplásticos ou termoendurecíveis podem ser processados do mesmo modo que os não compósitos (Beukers e Hinte, 1999, p.77).

Identificam-se algumas configurações típicas de materiais compósitos: material composto por uma matriz e reforço fibroso; folhas resistentes e finas separadas por um material leve; componentes quase orgânicos em que os materiais adquirem funções de pele, carne e osso; formas estruturais obtidas por co-extrusão; e, configurações que derivam da técnica de sobremoldagem (Manzini, 1986, pp.87-88). Alguns materiais compósitos podem ser obtidos a baixo custo, de que são um exemplo os extrudidos em várias camadas para o sector de embalagens alimentares; no entanto, para o processamento de outros compósitos, nomeadamente com fibras orientadas, os processos existentes têm baixas cadências produtivas, de que constitui um exemplo o processo de laminação (Manzini, 1986, p.88).

Uma desvantagem dos compósitos é a sua relativa fragilidade (Beukers e Hinte, 1999, p.61), mas têm uma resistência ao impacto excelente, e são tolerantes à fadiga (Beukers e Hinte, 1999, p.65). A maioria dos polímeros compósitos de elevado desempenho utiliza resinas termoendurecíveis como matriz (Ashby e Johnson, 2002, p.178); uma inovação recente é a utilização de materiais termoplásticos como matriz (Ashby e Johnson, 2002, p.182). Já existem alguns aviões de materiais compósitos no mercado; o primeiro foi introduzido em 1989, sendo este, um pequeno avião destinado a viagens de negócios com capacidade para 8 passageiros; as peças de materiais compósitos são mais leves do que as metálicas em cerca de 1/3, e a sua durabilidade é também consideravelmente superior (Beukers e Hinte, 1999, p.59).

De um modo geral, defende-se que o desenvolvimento de processos produtivos dos compósitos é um factor central no âmbito de uma mais ampla utilização destes materiais; em algumas aplicações, os metais oferecem ainda soluções atractivas devido à maturidade e baixos custos das suas tecnologias produtivas (Beukers e Hinte, 1999, p.71). Identifica-se ainda uma outra questão técnica que limita a utilização de fibras de carbono, a dificuldade em fixar as pontas dos cabos deste material, razão pela qual ainda se utiliza frequentemente cabos de aço em pontes, apesar de o carbono ser uma alternativa mais eficiente quanto ao desempenho e custo a longo prazo (Beukers e Hinte, 1999, p.77).

#### **2.4.3 Compósitos e complexidade – ao encontro da natureza**

Considera-se que o desempenho de um material compósito não é apenas a soma das propriedades dos materiais empregues, mas antes uma solução que resulta da interacção e sinergia destas, e que o design e aplicação destes materiais representa uma mudança de paradigma no pensamento técnico tradicional dos últimos dois séculos, que se apoiava «...na decomposição do problema em elementos simples e na sua subsequente recomposição mecânica.» (Manzini, 1986, p.64).

Manzini observa também que «O extraordinário protagonismo do conceito de compósito no panorama produtivo parece remeter o percurso dos materiais para uma posição não muito distante do ponto de partida», na medida em que a não homogeneidade e a anisotropia, são características dos primeiros materiais naturais utilizados pelo homem, tais como a madeira, o

osso e a pele, bem como pelo facto de se construírem materiais compósitos desde a antiguidade, de que é um exemplo a mistura de argila e palha utilizada em construção, e cujo intuito é o mesmo dos compósitos avançados da actualidade: «...aproveitar a resistência das fibras à tensão, deixando a uma matriz de propriedades mecânicas inferiores a tarefa de conservar a forma desejada.» (Manzini, 1986, p.91).

Comparativamente com a longa história de utilização de materiais compósitos, o período no qual se valorizam materiais homogéneos e isotrópicos, aparece como um breve instante. Defende-se, que «A evolução das máquinas e dos processos de cálculo dos nossos dias mais não é do que o relançar da continuidade com o passado mais longínquo da tecnicidade humana.» (Manzini, 1986, p.91). Observa-se ainda o seguinte:

*«Se actualmente a situação se alterou, o facto deve-se a uma complexidade de factores nos quais os aspectos técnicos e culturais estão intimamente ligados. O desenvolvimento dos compósitos e a gestão da complexidade dos materiais que estes requerem são possíveis graças à actual existência e divulgação de teorias sobre a matéria e seu comportamento, de experiências acumuladas e comprovadas no tempo, de máquinas capazes de tratar esta complexidade de uma forma relativamente económica: uma bagagem de instrumentos que se pode sintetizar com o nome de “neotécnica”. Mas gerir a complexidade do material significa também “pensar de uma forma complexa”, abandonar os modelos de referência mais simplistas e mecânicos sobre os quais assenta, em grande parte, o pensamento técnico moderno. A evolução dos materiais em direcção aos compósitos inclui uma nova forma de conhecimento técnico que se apresenta como componente de uma dinâmica cultural mais ampla, a mesma que fez com que, nos últimos anos, o pensamento ocidental descobrisse o tema da complexidade.»* (Manzini, 1986, p.91).

No entanto, para a produção de anisotropias controladas num material compósito avançado, nomeadamente para aplicação na indústria aeroespacial ou em carros de corrida, é necessário um trabalho pouco automatizado, que se reflecte num custo económico elevado; um aumento de produtividade e automação implica menor exactidão na gestão da anisotropia (Manzini, 1986, pp.97-98). Por outro lado, refere-se que as relações entre fornecedor e cliente de materiais compósitos são também estreitas, com o intuito de solucionar as questões técnicas dos componentes, ao nível das propriedades a desenvolver, e do processamento (Edwards, 2004b, p.565 baseado em Bralla<sup>13</sup>, 1999).

Manzini observa que enquanto os materiais utilizados se afastam cada vez mais do modo como se encontram na natureza, a estratégia técnica do seu desenvolvimento se aproxima de soluções geradas pela mesma, de que são exemplo os ossos das aves e a madeira, constituída por resistentes fibras de celulose e uma matriz polimérica de lignina (Manzini, 1986, p.95); e, que

---

<sup>13</sup> Bralla, J. G. (1999), *Design for manufacturability handbook*. McGraw-Hill.



«Quando comparada com as estruturas naturais (altamente anisotrópicas e não homogêneas, mas altamente integradas em elementos multifuncionais), a tecnologia aparece como um conjunto de soluções bastante rudimentares.» (Manzini, 1986, p.95).

Também Vincent (2002) observa que as estruturas produzidas pela natureza são muito complexas; considera-se que se as conseguirmos compreender podemos aprender muito (Vincent, 2002, p.30). Um exemplo desta “transferência de tecnologia” é o recente desenvolvimento de um processo que permite a produção de tubos metálicos com uma estrutura interior expandida integrada; até recentemente, a excelência desta solução estava confinada à natureza (Vincent, 2002, p.31).

Os materiais encontrados nos organismos vivos são muito eficientes, nomeadamente, quanto à sua resistência por unidade de peso (Vincent, 2002, p.32); os materiais biológicos têm elevados desempenhos, e alguns, como a madeira, nem podem ser melhorados actualmente, do que resulta a elevada importância atribuída aos materiais biológicos em diversas tecnologias (Vincent, 2002, p.33 baseado em Wegst<sup>14</sup>, 1996). A celulose, um dos constituintes da madeira e de outras plantas, é um material de elevado desempenho, comparável às melhores fibras produzidas tecnologicamente, e é constituída por diferentes níveis de microfibrilas: as microfibrilas primárias têm cerca de 5 nm de diâmetro, e agrupam-se em cerca de 100 para formar uma microfibrila maior (Vincent, 2002, p.35). Em Vincent encontram-se outros exemplos da excelência dos materiais produzidos pela natureza; estes materiais têm ainda a particularidade de serem *inteligentes*:

*«In nature, shape is cheaper than material. This has been shown a number of times and is manifested in the remarkably high performance, both absolute and specific, of biological materials (wood is one of the most efficient of materials; antler bone is tougher than any man-made ceramic composite) which is achieved not by the use of high performance components but by the degree of detail and competence in their design and construction. The implication is not only that animals and plants have to work hard to win the raw materials – sugars, amino acids, salts – from their environment, but that their control over the assembly and shaping of these materials is much more complete than ours. An essential part of this control is the cellular feed-back mechanisms which direct the accretion of material to places where it is most needed, resulting in adaptive structures. The shape of a tree is the history of the forces which were acting on it while it grew. These same sensory mechanisms, allied to a more mobile effector system as found in animals, lead on to structures whose lightness and apparent fragility are made robust by the ability to adapt shape and structure quickly to changing loads. This adaptiveness not only reduces the energy input into the production of the structure, but also allows it to adapt to changing forces and circumstances during its lifetime, many of which*

---

<sup>14</sup> Wegst, U. G. K. (1996), *The mechanical performance of natural materials*, Thesis, University of Cambridge.

*may be unpredictable. Such adaptiveness has also been called smart or intelligent behaviour.»*  
(Julian Vincent in Beukers e Hinte, 1999, p.44).

Considera-se que enquanto os materiais são baratos, não existe incentivo para os utilizar de forma cuidada e económica, sendo os resultados produzidos pouco eficientes, pesados, pouco elaborados no que respeita ao design, e até mesmo feios. No entanto, como o custo de um produto acabado depende do processamento e consumo de energia, para além do custo da matéria-prima, por vezes torna-se mais económico utilizar uma matéria maleável e fácil de processar; defende-se que esta é também uma questão que tem contribuído para a adopção dos materiais plásticos e compósitos (Vincent, 2002, p.29 baseado em Gordon<sup>15</sup>, 1976).

#### **2.4.4 Compósitos e ambiente**

Defende-se que com o desenvolvimento tecnológico avança uma tendência para a leveza, em que deste a pré-história, a produção de objectos cada vez mais refinados e leves, era conseguida através de operações técnicas e conhecimentos cada vez mais complexos (Manzini, 1986, p.103 baseado em André Leroi-Gourhan). Assiste-se, cada vez mais, a uma mais profunda, intensa e precisa manipulação de matéria; no entanto, adverte-se, que os materiais assim produzidos são mais difíceis de reintegrar nos ciclos naturais no fim da sua vida útil, e que os materiais compósitos são combinados de um modo praticamente indissociável; esta questão coloca-se nomeadamente na indústria automóvel, em que o emprego de compósitos avançados substitui componentes metálicos (Manzini, 1986, p.49).

*«Foram necessários cerca de dois séculos para construir uma cultura ecológica capaz de distinguir os termos do problema ambiental que se colocou na primeira fase da era industrial. Esperemos que, hoje, os novos termos da questão e as linhas de uma possível solução sejam mais rapidamente identificados. Perante a densidade de desempenhos dos objectos neotécnicos e da sua inquietante “quase organicidade”, que corresponde realmente a uma vincada diferenciação relativamente a quaisquer bases “naturais”, temos que elaborar uma cultura ecológica capaz de tratar não só os problemas, mais evidentes, da quantidade, como também os dilemas, mais subtis, da qualidade. Este passo é imperativo, não por razões que tenham que ver com uma fútil oposição à dinâmica de transformação em curso, mas porque é necessário constituir um componente cultural que oriente esta evolução em direcção a equilíbrios aceitáveis entre o ambiente artificial e as leis da Natureza a que estamos vinculados.»* (Manzini, 1986, p.49).

---

<sup>15</sup> Gordon, J. E. (1976), *The New Science of Strong Materials, or Why You Don't Fall Through the Floor*, Penguin (Harmondsworth), pp.229.

No âmbito da prossecução de um desenvolvimento sustentável, considera-se importante substituir gradualmente os materiais não renováveis pelos renováveis, pelo que a utilização de fibras naturais se revela pertinente. As principais vantagens de compósitos reforçados com fibras naturais são um baixo peso e custo, em comparação com outros materiais. Por outro lado, dependendo da matriz utilizada, a sua deposição no fim do ciclo de vida da aplicação é fácil, e não causa danos ambientais. Entre as desvantagens destes materiais distinguem-se: propriedades mecânicas baixas, e a variabilidade destas em função das condições de armazenamento da matéria-prima, bem como de variações de humidade e temperatura em serviço (Ermolaeva et al., 2002, p.463). No entanto, defende-se ser possível melhorar substancialmente as propriedades das fibras naturais, de modo a que possam ser utilizadas em aplicações estruturais:

*«The natural fiber composites application to medium and heavily loaded structures will be possible through the improvement of their mechanical properties, reliability of mechanical testing results, proper material models for numerical simulation of structural behavior and the development of design guidelines.»* (Ermolaeva et al., 2002, p.463 baseados em de Kanter et al.<sup>16</sup>, 2001).

O uso de certos tratamentos químicos permite também obter melhores propriedades mecânicas, na medida em que reforça a adesão entre a fibra e a matriz, do que resulta um material compósito com desempenhos superiores (Ermolaeva et al., 2002, pp.463-464).

Exemplos da utilização de fibras naturais na constituição de materiais compósitos encontram-se em Ermolaeva et al. (2002): já têm sido utilizados materiais compósitos com fibras naturais em substituição dos de fibras sintéticas em diversos componentes de automóveis, essencialmente não estruturais, e em modelos de marcas como Mercedes Benz, Chevrolet, Daimler-Benz e Ford Motors Company (Ermolaeva et al., 2002, p.463 baseados em Paslen<sup>17</sup>, 2000, e Kaveline<sup>18</sup>, 2001). Nestes compósitos reforçados com fibras naturais, utiliza-se frequentemente uma matriz de polipropileno pela possibilidade de reciclar os materiais. Como observado, quando se inclui o critério de reciclabilidade no âmbito da selecção de materiais, sobram poucas alternativas (Ermolaeva et al., 2002, p.463, 3ª etapa na tabela de resultados).

Uma das vantagens dos materiais compósitos termoplásticos reforçados face aos termoendurecíveis reforçados é o seu processamento; em forma de folha, os primeiros podem ser processados por uma variedade de tecnologias em que é aplicado calor ou pressão, e a sua

---

<sup>16</sup> de Kanter, J. L. C. G., Vlot, A., Kandachar, P., Kaveline, K. (2001), Toward a new paradigm in car design, in: Proceedings of the International Conference on Materials for Lean Weight Vehicles 4 (LWV4), 30-31 October 2001, Heritage Motor Center, Gaydon, UK (in press).

<sup>17</sup> Paslen, A. (2000), Renewable materials for automotive applications, Report DE-129, OCP DE, TU Delft.

<sup>18</sup> Kaveline, K. (2001), Literature survey on renewable materials, Report DE-136, TU Delft.

conformação é significativamente mais rápida (Edwards, 2004b, p.568); já existem tecnologias para o processamento de compósitos termoplásticos com maiores cadências produtivas do que os processos tradicionais dos compósitos (Edwards, 2004b).

O desenvolvimento de pás rotativas para a produção de energia eólica é actualmente um dos principais desafios de engenharia, design e materiais; de um modo geral, considera-se que a sua forma deve ser aerodinâmica, comparável à asa de um avião (Brøndsted et al., 2005, p.506). Em condições de serviço, as pás são submetidas a um conjunto complexo de forças, pelo que os requisitos dos materiais utilizados são exigentes: elevada rigidez, baixa densidade e longa resistência à fadiga (Brøndsted et al., 2005, pp.507-508). O comprimento das pás tem crescido substancialmente; durante a década de 80, as primeiras tinham entre 12 a 15 metros; actualmente já existe uma com mais de 60 metros (Brøndsted et al., 2005, p.509). Considera-se que o aumento das dimensões e redução do peso das peças são questões cruciais no âmbito da redução dos custos da energia eólica (Brøndsted et al., 2005, p.533).

A partir dos critérios de desempenho requeridos, foram identificados dois grupos de materiais, madeiras e compósitos: no que respeita às madeiras, é referido que este grupo é potencialmente interessante pela sua baixa densidade, mas que, dada a sua baixa rigidez, é difícil limitar as deflexões elásticas do material em pás de grandes dimensões. Por outro lado, o facto de a madeira ser um material natural, é atractivo quanto ao seu desempenho ambiental, mas dificulta a obtenção de peças iguais, reproduzíveis, e de elevada qualidade<sup>19</sup>; considera-se que estes são requisitos essenciais para uma produção estável e económica das pás, e que a proliferação da utilização dos compósitos nesta aplicação se deve, em parte, por estas razões (Brøndsted et al., 2005, p.511).

Os primeiros materiais compósitos utilizados nesta aplicação eram constituídos por fibra de vidro e uma matriz de poliéster; este material compósito reforçado com fibra de vidro e respectivo método de processamento foram transferidos da indústria naval; considera-se que a disponibilidade destas tecnologias contribuiu para o rápido desenvolvimento das pás, e, consequentemente, da energia eólica (Brøndsted et al., 2005, p.514).

Posteriormente, começaram também a ser utilizadas fibras de carbono. Em Brøndsted et al. apresenta-se uma síntese dos dois métodos de obtenção das fibras de carbono; refere-se que ambos os processos são muito dispendiosos, quanto às matérias-primas utilizadas e quanto aos processos. Recentemente, nos Estados Unidos, têm sido desenvolvidos esforços no sentido de encontrar matérias-primas mais baratas, entre as quais a lignina de biomassa, e desenvolver a economia de processamento, nomeadamente, através da redução do número de etapas da produção (Brøndsted et al., 2005, p.513).

---

<sup>19</sup> Depreende-se que os autores se referem a controlo de qualidade, homogeneidade.

Acerca de outros possíveis materiais para esta aplicação, é referido o seguinte:

*«At present none of the composites based on aramid, polyethylene, or cellulose fibers has been developed to an industrial technical level, which could make them practically interesting for large rotorblades. Two of the polymer fibers, aramid and polyethylene, are based on crude oil, i.e., a non-renewable resource, whereas the cellulose fibers are based on biomass, which is a renewable resource. The increasing focus on environment and ecology, as well as on limited resources, may make the cellulose fibers particularly interesting for demanding structural application, such as large rotorblades.»* (Brøndsted et al., 2005, p.532).

## **2.5 Conclusão**

Considera-se ter sido demonstrado que a madeira era um material amplamente utilizado na antiguidade, que no passado o seu âmbito de utilização era bem mais vasto do que actualmente, e que, portanto, a madeira foi amplamente substituída em diversas aplicações. É ainda de salientar que este material teve um papel fundamental no desenvolvimento de várias civilizações.

Considera-se que as propriedades intrínsecas dos materiais, e o potencial técnico-económico das respectivas tecnologias, são factores fundamentais no âmbito da utilização dos materiais. No entanto, identificam-se outros factores que influenciam a sua aplicação: demonstrou-se, que para além de uma função técnica, os materiais têm também uma função decorativa, e que transportam valores e significados sócio-culturais; apresentaram-se exemplos em que a selecção e utilização de materiais foi influenciada por ideologias; observou-se que a disponibilidade de um material é uma condição básica à sua utilização, mas que não a determina; e, que a escassez é um importante factor, impulsionador da substituição, bem como do desenvolvimento tecnológico no âmbito da conservação e da procura de alternativas.

*Porque que é que a madeira foi substituída? Que factores motivaram a sua substituição?*

No âmbito da substituição da madeira, identificou-se a influência de diversos factores: entre estes, considera-se que a escassez terá sido determinante para a sua substituição generalizada; o facto de nos EUA, durante a Revolução Industrial, a madeira não ter sido substituída enquanto era abundante, demonstra, que por um lado as propriedades da madeira não constituíam uma limitação ao desenvolvimento, que tecnicamente a madeira não era um entrave ao progresso; e, que por outro lado, também nos EUA a madeira foi substituída devido à escassez do material, e consequente aumento do preço. Conclui-se que a escassez foi um factor influente na substituição da madeira em todas as civilizações discutidas, e que foi também determinante no âmbito da substituição de alguns outros materiais.

Por sua vez, atendendo a que com a desflorestação aumentava a dificuldade em obter peças de madeira de grandes dimensões e melhor qualidade, considera-se que esta transformação do recurso também terá suscitado a utilização de alternativas. No entanto, poder-se-á justificar a

ampla utilização da madeira apenas com base na sua abundância? Para esta questão não foi encontrada evidência; neste contexto, salienta-se que a madeira é considerada um material com um conjunto de propriedades interessantes, e é fácil de trabalhar.

Identificaram-se dois aspectos críticos directamente relacionados com as propriedades da madeira: a sua susceptibilidade ao fogo, e à deterioração; considera-se que também estes factores terão contribuído para a substituição deste material. Defende-se que existe evidência de que a escassez (e, consequentemente a economia), foi o principal factor a influenciar a substituição da madeira até ao final do século XIX. Durante a 1ª metade do século XX identificou-se a influência de diferentes ideologias nesta substituição; conclui-se que a utilização de madeira não se enquadrava numa parte substancial do pensamento e cultura da 1ª parte desse século.

No entanto, no final do século XX, surgiram novos desafios, técnicos, económicos e ambientais; e com estes, surgiu uma mudança de paradigma que nos aproxima da Natureza, e da madeira. Que papel poderá a madeira desempenhar no futuro? Estamos perante um retorno à utilização de madeira? No âmbito destas questões vamos começar por clarificar os factores que têm influenciado a utilização de materiais, sensivelmente, a partir da 2ª metade do século XX.

### 3 Materiais e inovação – substituição, competitividade e difusão

Desde o século XX que assistimos a uma revolução dos materiais; a diversidade de materiais disponíveis aumentou substancialmente, bem como a competitividade e substituição entre estes; e, com os novos materiais surgiram inúmeras inovações.

Propõe-se uma clarificação dos diversos factores que influenciam a inovação e difusão dos materiais, através das seguintes questões de investigação:

*Que factores influenciam a inovação, substituição, competitividade e difusão dos materiais? Que barreiras e incentivos se identificam?*

#### 3.1 Materiais e Inovação

##### 3.1.1 A revolução dos materiais

*«Durante aproximadamente um milhão de anos após o seu aparecimento, o homem serviu-se essencialmente de cinco materiais para produzir utensílios e objectos: madeira, pedra, osso, chifre e pele. No princípio do Neolítico, operou-se uma complexa série de transformações radicais (a “revolução neolítica”), que conduziu também a um enriquecimento dos materiais empregues: argila, lã, fibras vegetais e – em épocas relativamente recentes – os primeiros metais. Durante todo o período seguinte, e por cerca de 9.000 anos de história, foram estes os materiais utilizados pela humanidade para construir o seu ambiente artificial. Mais tarde, a revolução industrial, com as suas profundas transformações culturais, sociais e económicas, levou à súbita e acelerada multiplicação dos materiais disponíveis para a produção. Um material – o aço – tornou-se mesmo o símbolo da primeira vaga da revolução industrial.» (Manzini, 1986, p.41).*

Desde cerca de 1900, o número de materiais disponíveis proliferou. É já impossível determinar o número de materiais existentes, porque são ilimitados, como são também ilimitadas as possíveis combinações destes em materiais compósitos (Manzini, 1986, p.42). Actualmente, deparamo-nos com inúmeras possibilidades na escolha de um material e processo para uma dada aplicação; trata-se já de um processo de “hiperselecção”, ou mesmo, em algumas situações, do

design de um material, “feito por medida”. Por outro lado, considera-se que já não há um material que surja como a escolha óbvia para um produto (Manzini, 1986, p.41). Em consequência da crescente multiplicação de materiais, Manzini identifica a necessidade de um serviço intermediário no âmbito da sua selecção, e de bases de dados de materiais, essencialmente filtros de informação, e que a sua apresentação tenha significado para o design (Manzini, 1986, p.47 e p.61). Actualmente, existem já várias empresas orientadas para a prestação deste serviço, de que são um exemplo a *Material Connexion* e a *Materio*; existem também bases de dados de materiais promovidas por entidades diversas que se destinam ao mesmo efeito, nomeadamente o *Material Explorer*.

Ashby e Johnson (2002) expõem o seguinte:

*«...today is not the age of just one material; it is the age of an immense range of materials and the combinations these allow. There has never been an era in which the evolution of materials was faster and the sweep of their properties more varied ... innovative design, is enabled by the imaginative exploitation of new or improved materials.» (Ashby e Johnson, 2002, p.174).*

Até recentemente, cada família de materiais ocupava um espaço distinto, caracterizado por certas propriedades; esta situação alterou-se: *«A competição entre famílias de materiais levou cada uma delas a aumentar as suas características e a alargar as suas competências, invadindo campos tradicionalmente ocupados por outras famílias.»* (Manzini, 1986, pp.42-43). Defende-se que a tradicional divisão das famílias de materiais se está a dismantelar, na medida em que estas se agrupam, cada vez mais em torno de questões de design. Consequentemente, defende-se que também as fronteiras de utilização de materiais de certos sectores estão a desaparecer:

*«...as indústrias tradicionalmente sectoriais estão a alargar o seu leque de interesses: a indústria siderúrgica adquire participações no sector dos compósitos e da cerâmica, a indústria química vira-se para os semicondutores ou para as fibras ópticas. Até mesmo a indústria automóvel tenta adaptar-se às novas escolhas possíveis, abrindo brechas na mono-utilização do aço, que era a sua base.» (Manzini, 1986, p.48).*

Segundo Manzini (1986), a competição entre materiais não é um fenómeno recente; os novos materiais introduzidos no percurso da evolução foram aplicados em domínios de outros materiais já estabelecidos; no entanto, defende-se que a cerrada competição de materiais a que hoje assistimos se acentuou com a introdução dos materiais plásticos (materiais orgânicos sintéticos), que entraram em concorrência com os existentes, e suscitaram desenvolvimentos mútuos. Salienta-se que actualmente o novo é introduzido muito mais rapidamente, e que os tempos de



investigação são menores, devido, essencialmente, a uma maior integração da ciência na tecnologia (Manzini, 1986, p.42).

Também em Janszen e Vloemans (1997) se refere que até a algumas décadas atrás, os metais, madeiras, cerâmicos e plásticos, tinham as suas próprias áreas específicas de aplicação bem definidas; durante muito tempo, esta divisão foi suficientemente rígida para permitir que os produtores defendessem os seus mercados contra materiais substitutos (Janszen e Vloemans, 1997, p.550). Defende-se que durante a 2ª metade do século XX, surgiu uma nova forma de competição entre as indústrias dos materiais básicos, uma competição inter-material, entre materiais (Janszen e Vloemans, 1997, p.550 baseados em Kaounides<sup>20</sup>, 1990). Em vez de as empresas competirem no sector de um dado material, são os sectores de materiais, como um todo, que competem entre si; neste contexto, distingue-se o facto de os metais estarem sob ameaça de materiais poliméricos, compósitos e cerâmicos. E, salienta-se que esta situação competitiva alterou significativamente a escala e natureza do comportamento estratégico das indústrias dos materiais básicos (Janszen e Vloemans, 1997, p.550).

Distinguem-se alguns factores que terão contribuído para o despoletar desta revolução dos materiais: por um lado, no âmbito da ciência dos materiais, houve uma melhoria da compreensão da origem das propriedades dos materiais, aos níveis micro e macroscópicos, e que terá sido possível pela disponibilidade de melhores computadores; por outro lado, os desenvolvimentos das tecnologias produtivas, permitiram desenvolver novas características de design e engenharia, através de uma manipulação da matéria mais precisa e previsível (Janszen e Vloemans, 1997, p.550).

Wield e Roy (1995) identificam também algumas tendências /factores que têm influenciado o desenvolvimento de materiais recentemente: o aumento da variedade de materiais e da sua substituição; um aumento da procura de materiais que constituem já uma aplicação final, portanto uma espécie de materiais-produtos; o desenvolvimento de materiais para satisfazer necessidades específicas, portanto de “materiais por medida”; em consequência desta crescente complexidade, as empresas intensificam as colaborações entre diversos departamentos internos, bem como com o exterior (Wield e Roy, 1995, pp.198-199; é referido que estas tendências já haviam sido identificadas em Turner et al.<sup>21</sup>, 1990).

---

<sup>20</sup> Kaounides, L. (1990) New issues and current negotiations: the materials revolution and economic development. *IDS Bulletin* 2, pp.16-27.

<sup>21</sup> Turner, C., Roy, R., Wield, D. (1990), Materials: A new revolutionary generic technology? Conditions and policies for innovation. *Technology Analysis and Strategic Management*, 2, pp.221-235.

Confrontados com estes novos materiais de engenharia, os produtores de materiais tradicionais como o aço, o cimento, e a madeira, enfrentam um sério desafio destes substitutos; da revolução dos materiais, resultou uma maior quantidade destes, retirando alguns materiais das suas aplicações tradicionais, e transformando os mercados destes num ambiente competitivo (Janszen e Vloemans, 1997, p.550). Essencialmente, são os materiais plásticos, compósitos, e o alumínio, que ameaçam os diversos segmentos de mercado dos materiais tradicionais como o aço, o betão, o ferro e a madeira (Janszen e Vloemans, 1997, p.551).

*«The struggle for survival and market share in construction, automotive and transport is fought on the basis of technical functionality and price. Although the substitutes are, in overall volumes, still a fraction of those for steel and concrete, they seem to be here to stay. The fact that these relatively new materials are still early in their life cycle will guarantee that there is still room for improvement, thereby increasing the pressure on the traditional material suppliers. The potential for development with regard to functionalities will ultimately broaden their application horizon, which in turn translates into lower prices. Further price decrease can be expected through increases in process development.» (Janszen e Vloemans, 1997, p.551).*

Janszen e Vloemans (1997) observam que com uma maior sofisticação dos materiais, a ciência dos materiais se alterou, passando de uma actividade centrada nos constrangimentos do fornecimento, para uma disciplina orientada /impulsionada pelas aplicações dos materiais; sendo que, também o mercado, previamente dominado pelos fornecedores, passou a ser mais influenciado pelos requisitos dos clientes (Janszen e Vloemans, 1997, p.551).

Tidd et al. (2001) identificam três áreas tecnológicas que se consideram revolucionárias, ou que constituem os campos com maiores potencialidades: a biotecnologia, os materiais, e as tecnologias da informação (Tidd et al., 2001, p.120). No que respeita à revolução dos materiais, salienta-se o importante contributo do desenvolvimento do conhecimento científico, e mais recentemente, a tendência para as relações entre ciência e tecnologia dos materiais serem mais próximas e produtivas (Tidd et al., 2001, p.122 baseados em Liedl<sup>22</sup>, 1986).

Tidd et al. caracterizam as principais trajectórias tecnológicas encontradas nas empresas: as empresas dominadas pelos fornecedores, as de escala-intensiva, as suportadas na ciência, as de informação-intensiva, e as fornecedoras especializadas (Tidd et al., 2001, pp.116-120), e cuja síntese é apresentada no quadro seguinte:

---

<sup>22</sup> Liedl, G. (1986), The science of materials, *Scientific American*, 255 (4), pp.104-112.

	<b>Domínio do fornecedor</b>	<b>Escala-intensivas</b>	<b>Suportadas na ciência</b>	<b>Informação-intensivas</b>	<b>Fornecedores especializados</b>
Produtos-chave típicos	•Agricultura •Serviços •Produção Tradicional	•Matérias-primas •Bens de consumo duradouros •Automóvel •Engenharia Civil	•Electrónica •Química	•Finanças •Retalho •Edição •Viagens	•Equipamento •Instrumentação •Software
Principais fontes de Tecnologia	•Fornecedores •Aprendizagem de produção	•Engenharia de produção •Aprendizagem de produção •Fornecedores •Gabinetes de Design	•I&D •Investigação Básica	•Departamento de software e sistemas •Fornecedores	•Concepção •Utilizadores avançados
Principais tarefas da estratégia de inovação					
1. Posição	1. Baseada em vantagens não tecnológicas	1. Eficácia do custo e segurança dos produtos e processos complexos	1. Desenvolvimento técnico de produtos relacionados	1. Novos produtos e serviços	1. Monitorização e resposta às necessidades dos clientes
2. Trajectórias	2. Utilização das TI nas finanças e na distribuição	2. Integração incremental do novo conhecimento (ex. Protótipos virtuais, novos materiais, B2B*)	2. Exploração da ciência básica (ex. biologia molecular)	2. Concepção e operação de sistemas complexos de processamento de informação	2. Compatibilização das mudanças tecnológicas às necessidades dos clientes
3. Processos	3. Flexibilidade de resposta aos clientes	3. Divulgação das melhores práticas de concepção, produção e distribuição	3. Obtenção de acções complementares. Redefinição de fronteiras das divisões	3. Adequar as oportunidades baseadas nas TI com necessidades dos clientes	3. Fortes elos de ligação com os clientes avançados

B2B = business to business, de negócio para negócio.

Figura 4 – As principais trajectórias tecnológicas das empresas, Tidd et al., 2001, p.118.

De um modo geral, poder-se-á considerar, que esta revolução dos materiais representa para as empresas produtoras /fornecedoras de materiais, o desafio de transitar de uma trajectória tecnológica de escala-intensiva, para uma de fornecimento especializado.

### 3.1.2 Inovação

Em Tidd et al. (2001) expõem-se diversas definições de inovação; considera-se que estas têm em comum, o reconhecimento de que é necessário complementar uma invenção (Tidd et al., 2001, p.37); refere-se que a inovação é confundida com a invenção frequentemente, mas que esta última representa apenas a primeira etapa do processo de inovação (Tidd et al., 2001, p.38):

«...Edison reconheceu que embora a lâmpada eléctrica fosse uma boa ideia ela de nada serviria se não houvesse um ponto onde pudesse ser ligada. Foi assim que a sua equipa procurou desenvolver e montar toda uma rede de geração e distribuição de energia eléctrica, concebendo inclusive os casquilhos, os interruptores e os fios de ligação e transporte.» (Tidd et al., 2001, p.37).

Daqui se compreende desde já, que algumas inovações suscitam ou dependem de outras; e, que por vezes, têm implicações ao nível estrutural, do sistema.

Tidd et al. distinguem duas dimensões da inovação (Fig.5): o que muda, portanto, se a inovação ocorre no produto, serviço, ou no processo; e, os limites da mudança percebidos, portanto, se a transformação /inovação é incremental ou radical. Refere-se, que neste contexto, o fundamental é considerar o grau de novidade *percebido* pelo observador (Tidd et al., 2001, p.6 e p.8). Tidd et al. apresentam também uma matriz (Fig.6) em que se classificam as inovações de acordo com duas dimensões: a tecnologia e o mercado; considera-se que esta classificação é útil na medida em que clarifica o âmbito da Inovação, e a sua percepção no mercado.

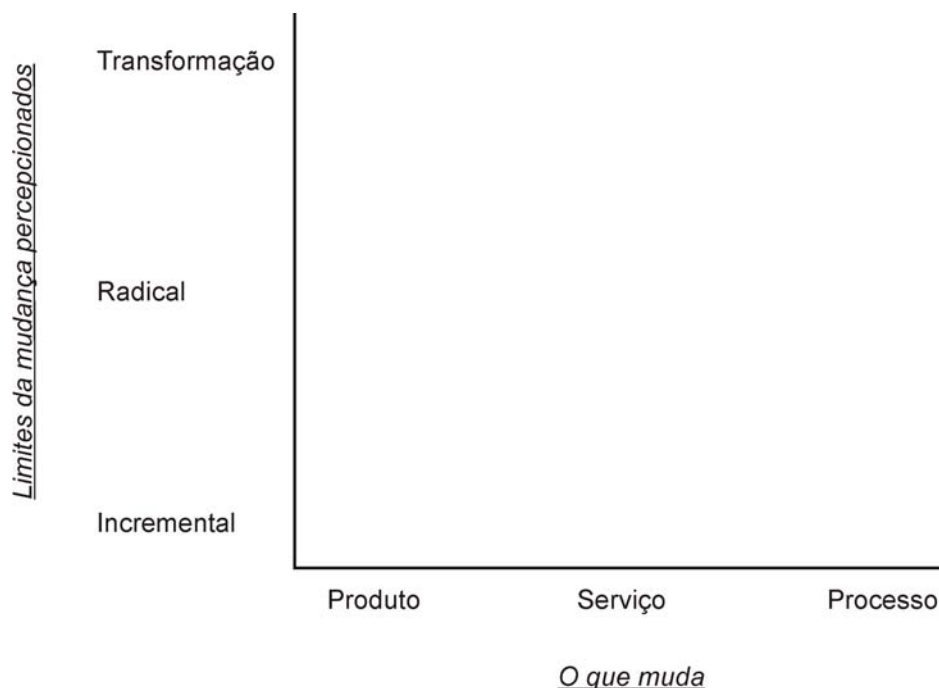


Figura 5 – As dimensões do espaço de inovação, Tidd et al., 2001, p.8.

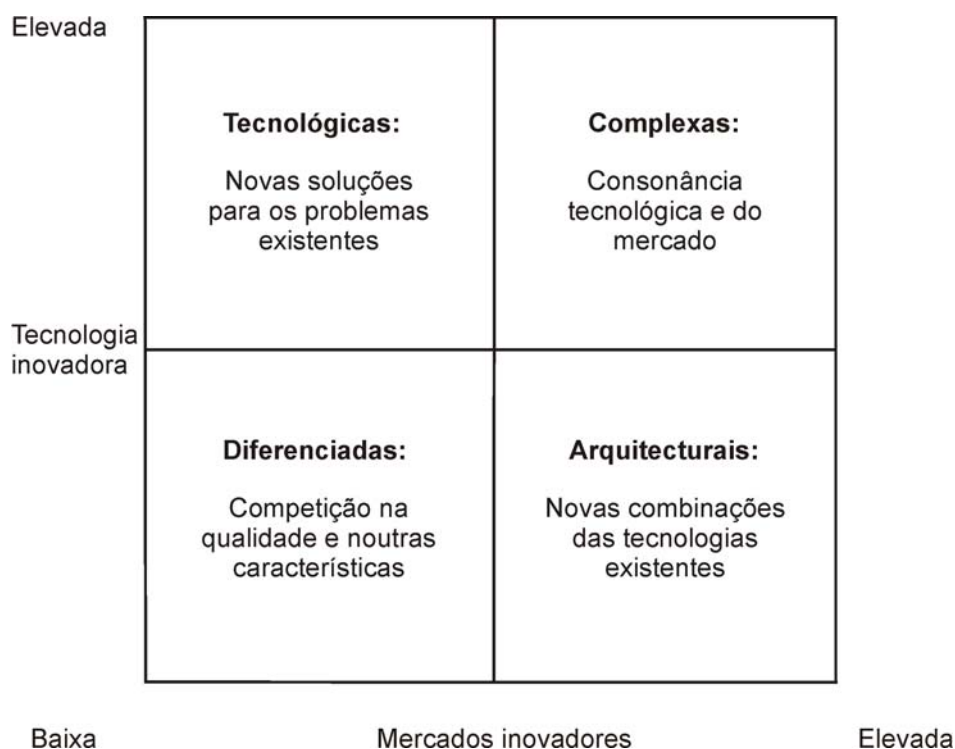


Figura 6 – A maturidade tecnológica e do mercado determina o processo de marketing, Tidd et al., 2001, p.174.

De um modo geral, as inovações do mercado classificam-se como diferenciadas, quando o âmbito das inovações é incremental, ao nível da tecnologia e /ou mercado. No extremo oposto, caracteriza-se de complexa, uma situação em que estão envolvidas inovações tecnológicas e de mercado de natureza radical. Quando a natureza das inovações é radical, mas apenas quanto à tecnologia ou mercado, essas inovações denominam-se de tecnológicas ou arquiteturas, respectivamente (Tidd et al., 2001, pp.173-174). Acerca dos produtos arquiteturas esclarece-se que estes consistem na utilização de tecnologias existentes, em novas aplicações ou mercados (Tidd et al., 2001, p.179). Quanto aos produtos complexos, salienta-se, que a relação entre os responsáveis pelo desenvolvimento e os potenciais utilizadores é uma questão chave (Tidd et al., 2001, p.203).

Para esclarecer as implicações dos diferentes tipos de inovação, expõe-se também um outro modelo de classificação com as mesmas variáveis, a tecnologia e o mercado, proposto anteriormente por Abernathy e Clark (1985)<sup>23</sup>, e que é apresentado em Maine et al. (2005). Considera-se que a categorização de inovações anteriores pode constituir um método para

<sup>23</sup> Abernathy, W. J., Clark, K. B. (1985), Innovation: mapping the winds of creative destruction. *Research Policy* 14, pp.3-22.

seleccionar precedentes históricos relevantes, e ajudar a prever a substituição no mercado (Maine et al., 2005, p.20 baseados em Abernathy e Clark, 1985).



Figura 7 – Mapa de transiliência de Abernathy e Clark (1985), Maine et al., 2005, p.20.

No mapa proposto, as inovações enquadram-se num dos quatro quadrantes, a que correspondem quatro tipos de inovação: regular, revolucionária, criação de nicho e arquitectural. A inovação regular, refere-se a inovações tecnológicas incrementais, e que representam essencialmente melhorias de tecnologias estabelecidas e competências produtivas, sendo aplicada a mercados e clientes existentes; de um modo geral, este tipo de inovação incremental reduz os custos, melhora o desempenho ou fiabilidade /confiança, e fortalece as competências das tecnologias existentes e de mercado, bem como as ligações deste. As inovações revolucionárias são aquelas que tornam obsoletas as tecnologias e competências produtivas estabelecidas, mas em que se mantêm as mesmas condições de mercado e clientes. Na inovação de criação de nicho, são utilizadas as tecnologias existentes em novas aplicações no mercado. A inovação arquitectural envolve nova tecnologia, em que são necessárias novas competências, bem como um novo produto, destinado a novos mercados e consumidores. Abernathy e Clark utilizam estes 4 tipos de inovação para estabelecer os extremos do seu “mapa de transiliência”, em que “transiliência” é definida como “a capacidade de uma inovação influenciar os sistemas de produção e marketing estabelecidos” (Maine et al., 2005, pp.20-21 baseados em Abernathy e Clark, 1985).

Considera-se que a inovação é essencial para manter ou alcançar uma vantagem competitiva, mas que inovar não é fácil, e que existem diversos exemplos de inovação de produto e de processo que falharam, apesar de terem por base ideias aparentemente boas (Tidd et al., 2001, p.15). Refere-se que «...a inovação comporta uma grande componente de incerteza, composta de factores técnicos, de mercado, sociais, políticos entre outros...» (Tidd et al., 2001, p.17). Compreende-se, portanto, que de um modo geral, a inovação é um processo dinâmico em que interagem uma multiplicidade de actores, e que se reflecte nos modelos de inovação propostos mais recentemente; no entanto, nos primeiros modelos, a inovação era considerada como uma sequência de actividades lineares. A evolução dos modelos de inovação é apresentada no seguinte quadro (Tidd et al., 2001, p.43 baseados em Rothwell<sup>24</sup>, 1992):

<b>Geração</b>	<b>Factores-Chave</b>
<i>Primeira/segunda</i>	Modelos lineares simples - necessidade de empurrão, pressão tecnológica
<i>Terceira</i>	Modelo de paridade, admitindo a interacção entre os diferentes elementos e a retroalimentação entre eles
<i>Quarta</i>	Modelo paralelo, com a integração na organização, a montante dos fornecedores chave e a jusante dos clientes mais activos e exigentes, e a tónica nas ligações e alianças
<i>Quinta</i>	Integração de sistemas e criação de vastas redes, resposta flexível e personalizada, inovação contínua

Figura 8 – As cinco gerações dos modelos de inovação, segundo Rothwell, Tidd et al., 2001, p.43.

Considera-se que a inovação é um processo, e que pode ser gerida (Tidd et al., 2001, p.51); «...a gestão da inovação é ... o desafio de adquirir e explorar os recursos do conhecimento de um modo sempre actual e estrategicamente eficaz.» (Tidd et al., 2001, p.22).

<sup>24</sup> Rothwell, R. (1992), Successful industrial innovation: Critical success factors for the 1990s. *R&D Management*, 22 (3), pp.221-239.

### 3.1.3 O processo de inovação nos materiais

Nos tempos modernos, uma das maiores motivações para inovar nos materiais, tem sido a oportunidade de um fornecedor de materiais introduzir um novo produto com uma combinação de propriedades e custo, que permita competir com sucesso no mercado; no entanto, a introdução de um material inovador envolve diferentes inovações, sendo a tecnologia do seu processamento particularmente importante, de que é um exemplo o processo de injeção para os materiais plásticos. O tempo entre o desenvolvimento dos materiais e a alargada utilização destes é muito variável, e depende da importância da aplicação do material. Por outro lado, atendendo a que a introdução de um novo material envolve desenvolvimentos diversos, considera-se que o período de desenvolvimento destes, desde a fase inicial de demonstração em laboratório até ao aparecimento da primeira aplicação comercial, é de pelo menos dez anos (Burke, 1990, p.381).

De um modo geral, os novos materiais têm origem em laboratórios de universidades, governos e indústrias. Geralmente, os novos materiais aparecem primeiro em produtos de “demonstração”, sendo posteriormente difundidos em mercados maiores; com o aumento do volume de produção, o preço do material decresce, a sua familiaridade entre designers e consumidores aumenta, do que resulta também um mais amplo uso do material. Progressivamente, o material atinge /aproxima-se de uma espécie de maturidade; no entanto, quando combinado com outros materiais, ou quando utilizado numa aplicação nova ou diferente, refere-se que um material pode reviver a sua novidade (Ashby e Johnson, 2002, p.157).

Também Manzini (1986) salienta que os novos materiais não são apenas os que surgem em centros de investigação, ou que se destinam a aplicações de elevado desempenho; por novos materiais pode-se considerar novas soluções que resultam por vezes de combinações criativas, e em que se utilizam materiais familiares. Por sua vez, a difusão destes materiais no sistema pode acontecer de formas diversas: por vezes os materiais são inicialmente aplicados em sectores de ponta, e só posteriormente em aplicações mais comuns; mas também são introduzidos novos materiais em aplicações de grande consumo, de que é um exemplo o sector de embalagens, e que desta forma são introduzidos na base da pirâmide (Manzini, 1986, pp.46-47).

*«Na área dos novos polímeros, é necessário, antes de mais, estabelecer a distinção entre o momento da invenção e o da primeira aplicação, e em seguida entre o da primeira aplicação e a aplicação em grande escala. Entre os polímeros que se tornaram produtos de série nos últimos vinte anos, alguns tinham já uma longa história (o PVC, o polietileno de baixa densidade e o poliestireno foram, todos eles, lançados antes da Segunda Guerra Mundial). Outros têm origens mais recentes (o polipropileno data de 1958; o polietileno de alta densidade, de 1953). No entanto, todos estes materiais entraram na produção logo com aplicações de grande consumo.» (Manzini, 1986, p.77).*



Segundo Manzini, o novo tem sempre de se confrontar com o sistema existente, e a sua inércia, pelo que os incentivos e restrições à transformação reflectem a complexidade de relações dos elementos do sistema (Manzini, 1986, p.46). Para um novo material, é decisiva a sua capacidade de difusão no sistema; um novo material *«...tende a estender-se dos centros mais dinâmicos para outros sectores encontrando, nesta difusão, áreas de resistência que são representadas pela inércia cultural e pelas dificuldades técnicas e económicas.»* (Manzini, 1986, p.47). Manzini refere ainda que este processo de difusão não é contínuo: que *«...a transferência tecnológica se efectua por etapas, entre êxitos e interrupções.»* (Manzini, 1986, p.47).

Manzini distingue duas fases distintas no âmbito da inovação de materiais no sistema dos objectos: numa primeira fase, os novos materiais são empregues como substitutos de outros, por vezes imitando-os, e essencialmente, sem modificar substancialmente as estruturas produtivas e os modelos organizacionais existentes; numa segunda fase, o sistema é redefinido, quando se reúnem algumas condições, como oportunidade económica para a mudança, conjuntura cultural apropriada dos agentes sociais envolvidos, e, capacidade inventiva e de design para superar o modelo tradicional de referência (Manzini, 1986, pp.53-54).

Acerca da resistência à inovação, Utterback (1994) expõe o seguinte:

*«How is it that a large and powerful firm can respond with great creativity in its defence while rarely exhibiting the creativity required to embrace the new and abandon the old? After sifting the evidence we believe this is primarily the result of the habits of mind, commitments and strategy, or patterns of behaviour of the organization's elite. Perhaps it is only human to defend the known and resist the unknown, a point that has been made by students of fields as diverse as history, psychology, and the philosophy of science. Change does not come easily to human societies, and there is no reason to expect the societies we call firms to behave differently. What is often astonishing is the degree to which the same societies, the same collections of people who behave so defensively toward radical change in its first appearance, can pull together and perform remarkable feats of courage and creativity when mortally threatened.»* (Utterback, 1994, p.xxviii).

Entre 1975 e 1978, Abernathy e Utterback<sup>25</sup> estabeleceram um modelo das dinâmicas da inovação, em que se esclarece a incidência e evolução das inovações de produto e processo. Numa fase inicial, as inovações são essencialmente ao nível do produto; esta fase é caracterizada por elevados níveis de experimentação ao nível do produto, e por uma abundância de concorrentes; nesta fase o processo é pouco relevante. Identifica-se uma segunda fase de transição, em que decrescem as inovações de produto, e se acentuam as de processo; esta fase

---

<sup>25</sup> Abernathy, W. J., Utterback, J. M. (1978), Patterns of Industrial Innovation, *Technology Review*, Vol.80, No.7, pp.40-47.

resulta da emergência de um design dominante, que satisfaz as necessidades dos utilizadores, e se estabelece no mercado; consequentemente, a variedade de alternativas decresce. Numa terceira fase, as indústrias ou produtos, caracterizam-se por baixas taxas de inovação de produto e processo, focalizando-se no custo, volume e capacidade; e, quando ocorre alguma inovação, esta é essencialmente de natureza incremental. Salienta-se que nem todas as indústrias ou produtos atravessam estas fases de forma clara e organizada, mas que ao longo dos anos, este modelo se tem revelado útil em explicar algumas dinâmicas da inovação (Utterback, 1994, pp.xvii-xix baseado em Abernathy e Utterback, 1978). A figura seguinte apresenta a esquematização do modelo:

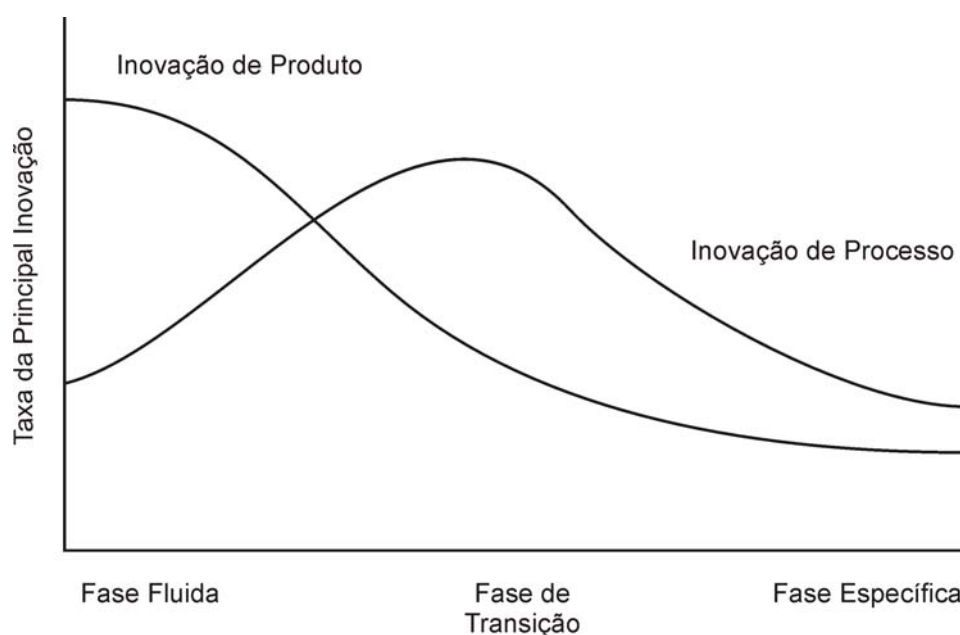


Figura 9 – As dinâmicas da inovação, modelo de Abernathy e Utterback (1978), Utterback, 1994, p.xvii.

Utterback (1994) apresenta uma comparação das dinâmicas da inovação entre produtos e subprodutos; neste âmbito consideram-se os extremos, produtos complexos e subprodutos simples, homogéneos; no entanto, reconhece-se a existência de muitas situações intermédias que reflectem as características de ambos, pelo que, esta distinção não é rígida (Utterback, 1994, pp.123-124).

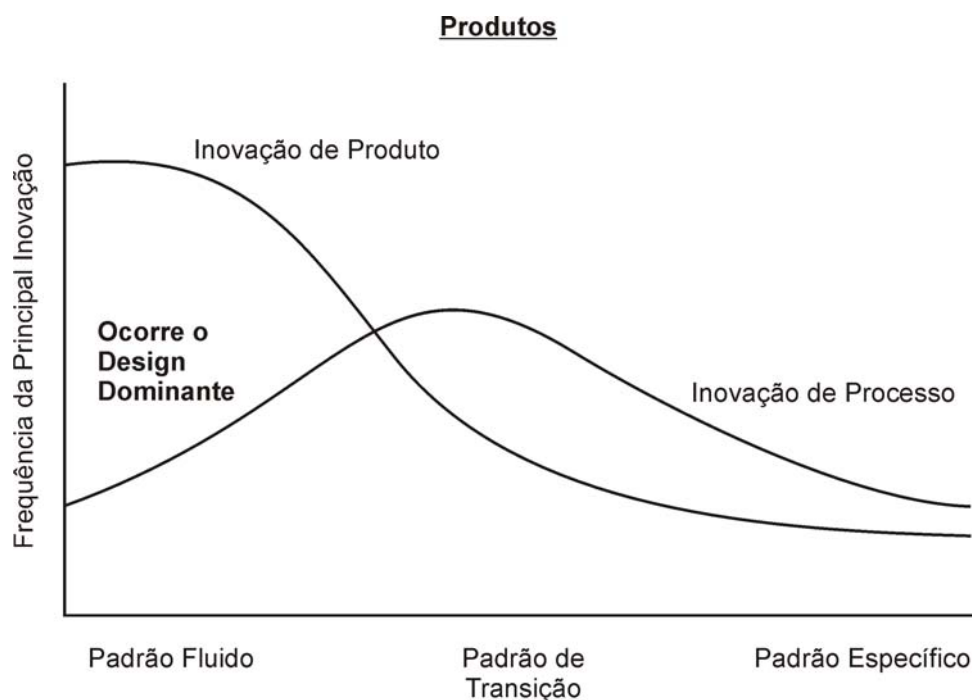
*«This leads us to speculate that instead of dividing the world of products into assembled and nonassembled, future research might consider a single spectrum graded by number of parts and process operations, with homogeneous products like glass on one extreme, and jet*

*aircraft on the other. And in the center might be found products of few individual parts with manufacturing processes that resemble those of glass, steel, and other homogeneous materials.» (Utterback, 1994, p.143).*

Identificam-se diversas semelhanças entre a inovação nos produtos e subprodutos, entre as quais, o facto de na sua maioria, também os materiais, serem inicialmente utilizados em mercados especializados, e de a sua aplicação progredir para um âmbito mais alargado (Utterback, 1994, pp.126-128). Observa-se que tal como nos produtos, também nos subprodutos, ou materiais, emerge um design dominante, mas que nos últimos este ocorre mais cedo, com a designada *tecnologia viabilizadora*, pelo que a transição entre a ênfase em inovações de produto para inovações de processo é mais rápida (Utterback, 1994, p.125). Como exposto por Utterback:

*«The patterns of innovation for assembled and nonassembled products are thus different in the sense that the rate of process innovation quickly outstrips the rate of product innovation among nonassembled goods, and process innovation dominates the industry as it passes through the transitional and into the specific phases of its evolution.» (Utterback, 1994, p.129).*

As imagens seguintes ilustram esta questão:



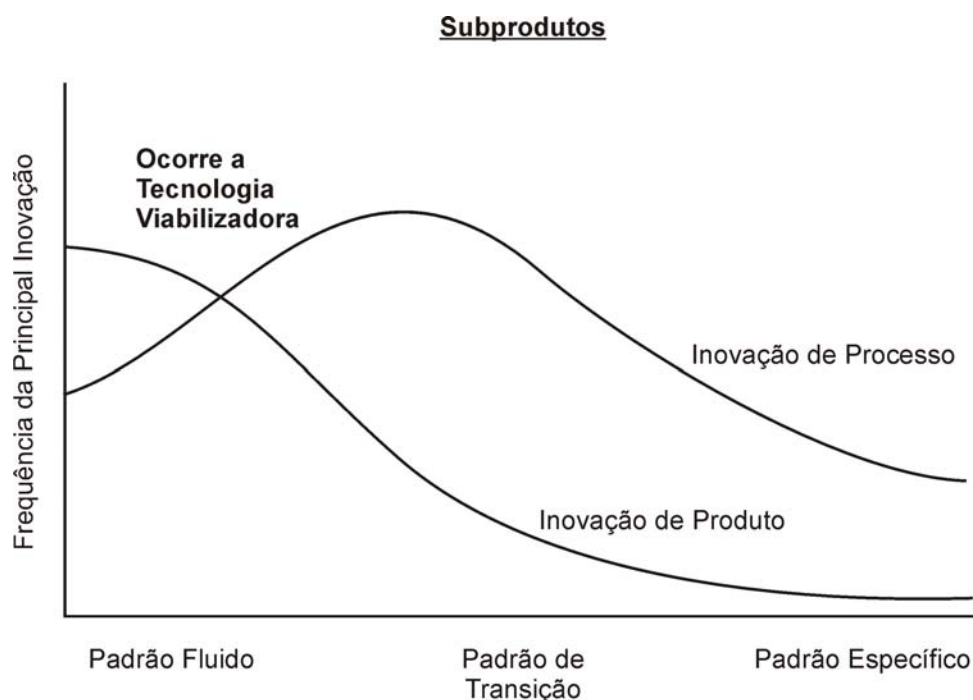


Figura 10 – Padrões de inovação para produtos e subprodutos, Utterback, 1994, p.130.

Esta diferença tem implicações essencialmente na fase de transição, e das quais se distingue o seguinte: como nos materiais o processo adquire maior importância, a sua evolução para a automatização é também mais rápida, do que resultam processos mais rígidos, dispendiosos, e com um custo de mudança mais elevado (Utterback, 1994, pp.140-141).

Nas indústrias maduras, aquelas em que os produtos, mercados, e possivelmente tecnologias, se encontram próximas do fim do seu ciclo de vida, o preço é um factor determinante para a competitividade; consequentemente, a inovação centra-se essencialmente no processo das tecnologias, com o intuito de alcançar uma melhor eficiência (Janszen e Vloemans, 1997, p.549 baseados em Abernathy e Utterback<sup>26</sup>, 1975). Distinguem-se diversas indústrias na fase da maturidade: construção, petroquímica, metalúrgica, automóvel e naval. Estas indústrias caracterizam-se também por um ênfase em economias de escala, possíveis pelas tecnologias de processamento utilizadas, bem como pelas condições e infra-estruturas do mercado. Defende-se que a duração desta fase é variável, mas que de um modo geral se estende por várias décadas (Janszen e Vloemans, 1997, pp.549-550).

<sup>26</sup> Abernathy, W. J., Utterback, J. M. (1975), A dynamic model of process and product innovation. *Omega* 3, p.639.

### 3.1.4 Adopção e difusão da inovação

Considera-se que o sucesso de um novo material depende da sua capacidade em atrair uma sequência de adoptantes iniciais, em que a adopção /evolução do consumo de materiais, se caracteriza por uma sucessão de curvas em S que descrevem aplicações de crescente volume /consumo (Ashby e Johnson, 2002, p.158), e que é ilustrado na figura seguinte:

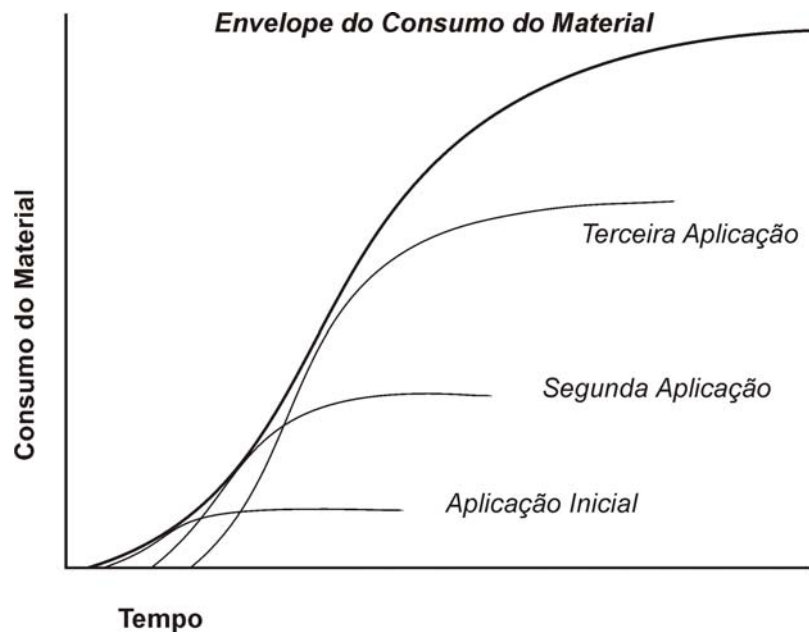


Figura 11 – Evolução do consumo de um material, Ashby e Johnson, 2002, p.159.

Utterback (1994) apresenta uma comparação e interacção entre os desempenhos de um produto tecnológico invasor e um estabelecido: considera-se que quando a tecnologia invasora aparece é, geralmente, ainda imperfeita e com uma aplicação limitada, pelo que a tecnologia estabelecida oferece, na maioria das vezes, um melhor desempenho ou custo. Defende-se, que se a nova tecnologia tem potencial, esta é rapidamente melhorada, atingindo e posteriormente ultrapassando, os níveis de desempenho ou custo da tecnologia estabelecida, passado algum tempo. Entretanto, as tecnologias estabelecidas contra-atacam; no entanto, beneficiam apenas de um breve período de melhoramento, atendendo a que os resultados do investimento são crescentemente marginais (Utterback, 1994, pp.158-161).

Esta dinâmica é representada nas figuras seguintes:

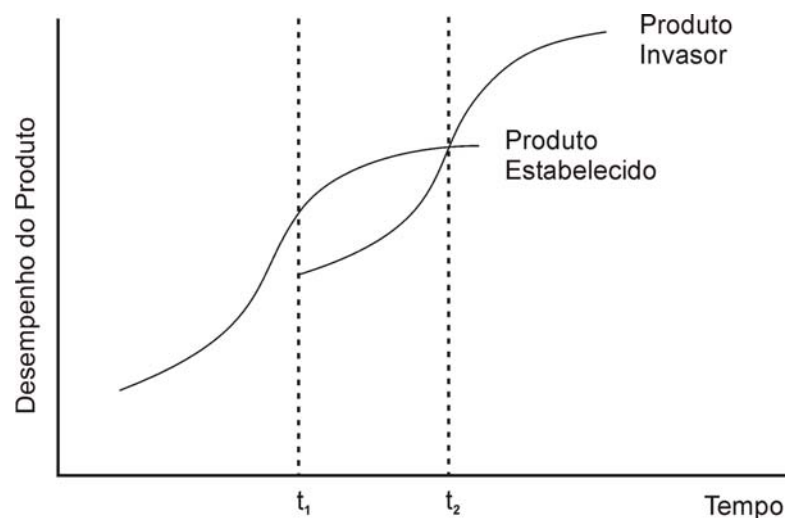


Figura 12 – Desempenhos de um produto estabelecido e um invasor, Utterback, 1994, p.159.

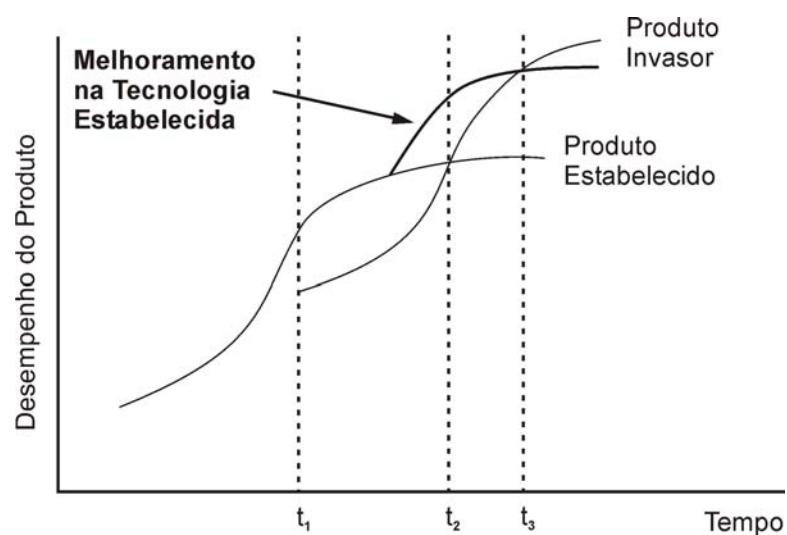


Figura 13 – Melhoramento no produto estabelecido, Utterback, 1994, p.160.

Considera-se que existem diversos factores que influenciam a difusão e adopção das inovações; neste contexto, pretende-se apenas expor, ou demonstrar, a multiplicidade dos factores envolvidos. De um modo geral, considera-se que esta é uma área em que é necessário mais investigação, e integração dos diversos factores, de modo a obter modelos gerais (Tidd et al., 2001, p.196; Wejnert, 2002, p.298).

Em Tidd et al. (2001) identificam-se algumas características das inovações que afectam a sua difusão: vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, experimentação, e observância. Por

vantagem relativa compreende-se a melhoria percebida; considera-se que os atributos que constituem a vantagem são inerentes à inovação, mas que a percepção desta vantagem é relativa, e variável entre os adoptantes. No âmbito da compatibilidade distinguem-se dois aspectos: as capacidades e práticas existentes, e os valores e regras. A complexidade representa o grau de dificuldade percebida para a compreensão ou utilização da inovação. Salienta-se, que geralmente são adoptadas mais rapidamente as inovações mais simples. A experimentação refere-se à possibilidade de a inovação ser testada pelos utilizadores; considera-se que esta possibilidade diminui os riscos na adopção, acelerando este processo. Por observância entende-se o grau de visibilidade que uma inovação tem para terceiros (Tidd et al., 2001, pp.194-196 baseados em Rogers<sup>27</sup>, 1995).

*«A divulgação de uma inovação depende das suas características, da natureza dos potenciais adoptantes e do processo de comunicação. A vantagem, compatibilidade, complexidade, experimentação e a observância relativas de uma inovação afectam a sua taxa de divulgação. A adopção é também afectada pelas capacidades, psicologia, contexto social e infraestrutura dos adoptantes.» (Tidd et al., 2001, p.203).*

*«Diffusion of innovations refers to the spread of abstract ideas and concepts, technical information, and actual practices within a social system, where the spread denotes flow or movement from a source to an adopter, typically via communication and influence.» (Wejnert, 2002, p.297 baseada em Rogers<sup>28</sup>, 1995).*

Wejnert (2002) sugere uma integração dos diversos modelos /factores que afectam a difusão de inovações. Distinguem-se três vertentes no âmbito da difusão: as características das inovações, as características dos adoptantes, e o contexto ambiental. Acerca das características das inovações observam-se: consequências públicas e privadas da adopção, e benefícios e custos da mesma. No que respeita às características dos adoptantes, identifica-se a influência das seguintes variáveis na adopção /difusão: entidade social (ex. indivíduo ou grupo), familiaridade com a inovação, estatuto social do adoptante, características sócio-económicas (ex. educação), o seu posicionamento em redes sociais, e características pessoais. No âmbito do contexto ambiental distinguem-se: localização geográfica, cultura social, condições políticas, e uniformidade global (Wejnert, 2002, pp.298-299).

---

<sup>27</sup> Rogers, E. M. (1995), *Diffusion of Innovations*. Free Press, New York.

<sup>28</sup> Idem.

## **3.2 Substituição dos metais**

### **3.2.1 Introdução à substituição**

A substituição caracteriza-se como um processo evolucionário, e tradicionalmente motivado por reduções de custo, vantagens funcionais e considerações de fornecimento; a estes factores históricos, adicionam-se agora constrangimentos regulamentares, questões estratégicas, assuntos ambientais, e atitudes do público. Defende-se que o conjunto destes factores, juntamente com a intensificação da inovação, tem contribuído para substituições mais abruptas, e um crescente ênfase no planeamento tecnológico da substituição. Existem quatro tipos básicos de substituição: de material, de processo, de design, e funcional; estes estão intimamente relacionados, na medida em que a substituição de um tipo pode provocar a de outros; a substituição de um material requer frequentemente a modificação do processo; e mudanças no design suscitam mudanças nos materiais e processos. Por outro lado, a substituição também incita a competitividade, desenvolvimento e inovação, no material, processo ou sistema que se pretende substituir. A substituição de materiais é provavelmente o tipo de substituição mais familiar e de maior relevância, dada a sua relação com o fornecimento de recursos críticos e estratégicos. Pela sua natureza, a substituição pode ter um impacto substancial em áreas tecnológicas relacionadas (Schlabach, 1990, p.594).

Existem alguns exemplos frequentemente considerados no âmbito da substituição: a substituição de alumínio por cobre, essencialmente influenciada pelo custo e disponibilidade dos materiais; e, a substituição de aços comuns, por outros materiais mais leves, aços de elevada resistência, alumínio e plásticos no sector automóvel, em consequência da implementação de regulamentação que visa a redução do peso dos automóveis (Schlabach, 1990, p.596). Nos últimos anos, o alumínio e o plástico, têm sido crescentemente utilizados em substituição de madeira, no sector de construção residencial (Tilton, 1990, p.591).

Um dos factores determinantes na substituição de materiais é a inovação tecnológica. Defende-se que as variações dos preços dos materiais no curto espaço de tempo têm pouca importância, na medida em que os produtores estão restringidos pela tecnologia e equipamento existentes; no entanto, como no longo prazo estes podem mudar, considera-se que a importância do preço dos materiais é mais significativa, e pode suscitar interesse no desenvolvimento de tecnologias mais eficientes. A substituição de materiais pode ainda ser influenciada por regulamentos e medidas governamentais, como códigos de construção, saúde e segurança (Tilton, 1990, p.593).

Actualmente, um dos principais movimentos de substituição é o dos materiais metálicos; portanto, vamos de seguida analisar a substituição dos metais, de modo a compreender alguns dos factores que influenciam a substituição, competitividade e inovação dos materiais na actualidade.



### 3.2.2 Desenvolvimento de materiais substitutos

Como referido anteriormente, a partir da Revolução Industrial, os metais adquiriram um papel dominante como materiais de engenharia, situação que se manteve até cerca de 1960. A partir desta altura, ainda que se continue a desenvolver materiais metálicos, são outras indústrias que crescem acentuadamente: as de materiais poliméricos, compósitos e cerâmicos (Ashby e Johnson, 2002, p.176). E, com o desenvolvimento destes materiais, os metais começaram a ser substituídos num crescente número de aplicações (Ashby e Johnson, 2002, p.176; Manzini, 1986, p.124).

Durante o século XIX começaram a ser desenvolvidos diversos materiais cerâmicos para aplicações técnicas, e em 1923 foi introduzido um material de corte revolucionário, à base de materiais cerâmicos, que permitiu um muito mais eficiente corte de materiais metálicos, substituindo as ferramentas de aço utilizadas para o efeito até então (Westbrook, 1990b, p.428). Actualmente, o interesse nos materiais cerâmicos deve-se, particularmente, à sua resistência a elevadas temperaturas, que é superior à de qualquer metal; estes materiais são duros, frágeis, e bons isoladores eléctricos (Ashby e Johnson, 2002, p.184; Manzini, 1986, p.84).

Por outro lado, salienta-se que a utilização de novos materiais pode modificar a imagem dos objectos, de que é um exemplo a aplicação de escamas cerâmicas como escudo térmico no vaivém espacial, e que lhe confere uma aparência invulgar para uma aeronave: *«...as primeiras fotografias do vaivém espacial impressionaram ... pela novidade da imagem não metálica do seu escudo térmico, formado por estranhas escamas de cerâmica branca, que pareciam tão improváveis na superfície de uma máquina.»* (Manzini, 1986, p.127-128). Os metais têm vindo a ser substituídos, nomeadamente, por materiais plásticos e cerâmicos em peças de motores (Manzini, 1986, p.124 e 130), e por materiais compósitos em suspensões de veículos (Manzini, 1986, p.150).

*«O mundo das máquinas tem sofrido uma transformação, de modo pouco visível, quase subterrâneo, que afecta os pontos mais delicados e os componentes mais sujeitos a esforços. As luzidias engrenagens de aço, o ruído e a vibração das peças em rotação e a viscosidade dos lubrificantes caracterizavam uma imagem estereotipada de um mecanismo que começa a tornar-se obsoleta. Os novos mecanismos são opacos, compactos, secos, silenciosos e sem vibrações.»* (Manzini, 1986, p.135).

Um outro exemplo de substituição dos metais é o ferro de engomar; inicialmente, este era uma peça metálica, à qual era aplicada uma pega, primeiro de madeira e depois de resina termoendurecível: *«Com o passar do tempo, a pega de resina foi alastrando, até se transformar no cabo completo, englobando outras funções ... Posteriormente, a parte de plástico alastrou ao longo dos flancos do corpo metálico e a resina termoendurecida começou a dar lugar à resina termoplástica.»* (Manzini, 1986, p.127). Para além da substituição dos metais em aplicações que exigem uma resistência a elevadas temperaturas, estes têm sido substituídos também em

aplicações estruturais, de que é um exemplo o automóvel, em que também a madeira havia sido substituída.

### 3.2.3 O automóvel

A partir de cerca de 1960 começaram a ser construídas as primeiras carroçarias experimentais, em poliéster reforçado com fibra de vidro; e, a partir de 1970, a ser utilizados materiais plásticos em diferentes partes do automóvel, entre as quais o pára-choques, uma inovação que alterou o automóvel do ponto de vista formal e funcional (Manzini, 1986, pp.110-112). Essencialmente motivado por questões económicas e de segurança, também o interior do automóvel se transformou, passando de um espaço essencialmente metálico, à excepção do *tablier* (inicialmente de madeira) e estofos, para um espaço dominado por uma multiplicidade de materiais plásticos e compósitos, e do que resulta «...um micro ambiente “macio” com arestas boleadas e agradável ao toque; um ambiente totalmente desenhado segundo os parâmetros de segurança e com a imagem de suavidade que se pretende transmitir.» (Manzini, 1986, p.156 e p.200).

Também Edwards (2004a) observa que no interior dos veículos, os polímeros são actualmente os materiais dominantes; a sua utilização permitiu que o *tablier*, anteriormente constituído por centenas de componentes metálicos, evoluísse para uma forma estrutural global, em que se integram as diversas funcionalidades; esta inovação permitiu uma grande redução nos custos e tempos de produção, e aumentou o potencial criativo do interior; é ainda referido que todos os componentes interiores têm de respeitar regulamentação rigorosa de segurança face ao fogo e fumo (Edwards, 2004a, p.531).

Em Edwards defende-se que em produtos complexos, como o automóvel ou o seu motor, as inovações surgem de modo faseado, sendo os componentes desenvolvidos separadamente, essencialmente para restringir os custos e os tempos de desenvolvimento (Edwards, 2004a, p.533). Refere-se que uma das principais barreiras à inovação na indústria automóvel é ainda o longo período de tempo envolvido na introdução de novos materiais (Edwards, 2004a, p.529); e, que a introdução de nova legislação, nomeadamente a directiva do fim de ciclo de vida de veículo (End-of-Life Vehicle Directive) é um dos factores que acelera ou impulsiona a mudança (Edwards, 2004a, pp.529-530 baseado em ED<sup>29</sup>, 2000). Considera-se que a redução do peso dos veículos é uma das principais tendências de aplicação de materiais no sector automóvel (Edwards, 2004a, p.532).

Segundo Edwards, os materiais tradicionais como o aço ou o alumínio, terão ainda uma grande aplicação, porque as suas propriedades têm sido desenvolvidas e são ainda atractivas. Salienta-se que também a legislação deverá continuar a ter um papel importante no

---

<sup>29</sup> European Directive 2000/53/EC – End of Life Vehicle; September, 2000.

desenvolvimento dos materiais, em particular no que respeita às questões ambientais, e considerando todo o ciclo de vida dos componentes automóveis (Edwards, 2004a, p.533).

Também Janszen e Vloemans (1997) identificam que o sector do aço, especialmente nos países desenvolvidos, se depara actualmente com diversos factores adversos, e em particular, com a sua substituição por materiais alternativos como o alumínio e compósitos. Considera-se que as questões ambientais e económicas, são dos principais factores que têm impulsionado esta tendência no sector, na medida em que existe a necessidade de reduzir as emissões dos veículos, bem como os consumos de combustível, e é parcialmente através da redução do peso dos veículos que estes objectivos podem ser alcançados. No entanto, salienta-se, que os novos requisitos de leveza, segurança, e conforto, não são inteiramente alcançados apenas pela substituição de uns materiais por outros, e que uma aplicação óptima de novos materiais implica também novos princípios de design e engenharia (Janszen e Vloemans, 1997, p.552).

Observa-se, portanto, que existem factores adicionais no âmbito da competição entre materiais, entre os quais parâmetros sócio-económicos, e em que se destaca o impacto da legislação. Considera-se que a competição entre materiais não é determinada por um único factor, atendendo a que lhes estão inerentes diversos sistemas, uma infra-estrutura, que de um modo geral suporta ou viabiliza as tecnologias. E com a introdução de mais factores influentes, compreende-se que a dinâmica do processo de inovação não é linear, sendo difícil de gerir e de prever (Janszen e Vloemans, 1997, p.553 baseados em Janszen<sup>30</sup>, 1995). A este respeito, expõe-se o seguinte:

*«In order to approach the complexity of the matter it is necessary to assess the relative position of steel against its competitors on a so-called life cycle curve. Whereas steel seems to be just stretching its lifetime by means of incremental improvements, the competitive materials have shift the curve to a higher performance level, actually matching customer requirements to designed properties. By effectively shrinking their lead times to the market through intensive cooperation with end-users, the advanced materials producers are able to enter the market niches formerly occupied by steel as a more generic material and thus 'jump the curve'. In terms of product innovation, steel now has to 'catch up'.» (Janszen e Vloemans, 1997, p.553).*

Janszen e Vloemans propõem um modelo dinâmico do sistema de inovação constituído por 5 subsistemas, em que se apresentam diversos factores que influenciam o processo de inovação: infra-estruturas de transformação, integração e comercialização dos recursos físicos; questões sócio-culturais, ambientais e institucionais; e conhecimento científico e tecnológico (Janszen e

---

<sup>30</sup> Janszen, F. H. A. (1995), Innovation processes, systems of innovation and management of innovation; profiting from the non-linearities in the innovation process. In: Janszen, F. (Ed.) *Advisering en Innovatiepraktijk*. Erasmus University, Rotterdam.

Vloemans, 1997, pp.553-554). Distinguem-se alguns factores que impulsionam e inibem a utilização do aço e dos materiais substitutos no sector automóvel: limites técnicos no âmbito de propriedades intrínsecas dos materiais, como a densidade; um aumento da preocupação do público com as questões ambientais; pressão política crescente, do que resulta legislação mais exigente; uma maior abundância de substitutos, em quantidade e qualidade; e, uma infra-estrutura industrial melhorada no que respeita a tecnologias produtivas e à aceitação dos materiais substitutos (Janszen e Vloemans, 1997, p.554).

*«By means of the automotive example it became clear that the innovation process in the automotive sector (and derived from that, the resulting innovation in the steel sector) is driven by changes in the physical environmental subsystem (pollution). Socio-cultural change in the perception of the environment (increased awareness) brought forward a change in the institutional subsystem by means of an increased legislative infrastructure. To have a viable strategic option in the industrial competitive subsystem, in which resources are transformed, integrated and exchanged, it is required to accommodate the new laws. The solution to the environmental issue can be found in the technologies appropriated, the so-called scientific web. New developments in the fields of materials science (increased performance), engine technology (fuel cells) and design concepts (monobody versus spaceframe) enable the industry to contribute to a more fuel-efficient car use.» (Janszen e Vloemans, 1997, p.554).*

Como apresentado neste caso, subjacente aos factores tecnológicos e económicos, está um de percepção pública acerca do desempenho ambiental da indústria e respectivos materiais. Neste contexto, considera-se que um material substituto é viável, se o seu desempenho ambiental for superior (Janszen e Vloemans, 1997, p.554). Janszen e Vloemans representam a dinâmica das influências relativas à substituição de materiais no sector automóvel através do seguinte esquema:

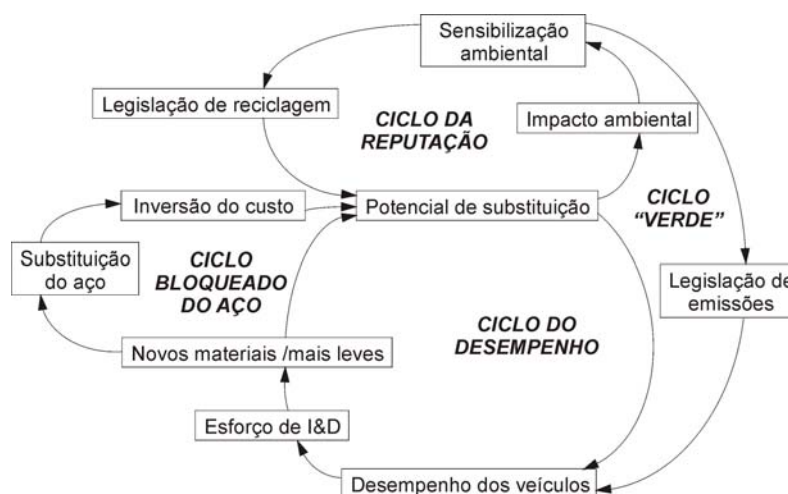


Figura 14 – Dinâmica das influências relativas à substituição de materiais no sector automóvel, Janszen e Vloemans, 1997, p.555.

Distinguem-se ainda alguns factores que podem contribuir para retardar a substituição do aço por outros materiais: considera-se, que nos mercados tradicionais da sua aplicação, o aço tem uma vantagem significativa sobre os seus substitutos, que é a de ter uma longa e bem estabelecida tradição de uso e de competência entre os engenheiros de design; defende-se que a transição do aço para outros materiais com os quais estes profissionais não estão familiarizados não é fácil, e requer uma predisposição /mudança de atitude substancial. Outros factores que inibem a mudança são os elevados custos associados ao desenvolvimento de novos modelos de engenharia, construção, uso e reciclagem dos substitutos, que se reflectem em todo o ciclo de vida. Por outro lado, existem também os riscos associados, pelo que se considera que existe uma espécie de bloqueio tecnológico, relativamente à utilização do aço (Janszen e Vloemans, 1997, p.554).

Sugere-se, que no futuro, as novas tecnologias de materiais irão não só afectar as estratégias de inovação e marketing, como também terão impacto nas funções produtivas, e na forma como as empresas se organizam (Janszen e Vloemans, 1997, p.555). A questão central para os produtores e fornecedores de materiais tradicionais como o aço, é agora, a de como abordar esta mudança de paradigma no que respeita aos requisitos da inovação, na medida em que as competências existentes, orientadas para o fornecimento de grandes quantidades a baixo custo, se revelam agora insuficientes; a ênfase no melhoramento dos processos para manter um preço competitivo, parece já não ser a única chave para o sucesso. A utilização de materiais alternativos em certos mercados reflecte que as economias de escala já não são suficientes; diversas circunstâncias têm favorecido as economias de competências (“scope”), exploradas pelos novos concorrentes (Janszen e Vloemans, 1997, p.552).

#### **3.2.4 Aviação e leveza**

A indústria aeronáutica está continuamente à procura de estruturas mais leves. A produção é cada vez mais dispendiosa; os melhoramentos que se pode obter nas construções metálicas são muito reduzidos, pelo que os métodos de produção são essencialmente os mesmos há já algumas décadas. Os aviões metálicos atingiram o topo da sua curva em S que descreve o seu ciclo de vida; a única forma de obter lucro é saltando para uma nova curva em S, a dos materiais compósitos (Beukers e Hintze, 1999, p.59).

*«...metals limits cannot be stretched endlessly. Ashby's curve shows that, in comparison with other materials, they reached their maximum contribution to constructions in and around World War Two. From then on synthetic ceramics, polymers and composites began competing and will continue to do so for many years to come. The reason that application of metals is gradually decreasing is not that metal resources are being exhausted, but that the most widely used ones, steel and aluminium, are no longer capable of meeting long term requirements of*

*price and performance. Research and development to achieve small improvements are becoming relatively expensive.» (Beukers e Hinte, 1999, pp.13-16).*

Os compósitos reforçados com fibras terão de competir com materiais estabelecidos numa indústria madura; as suas particularidades são ainda pouco familiares; apesar de o preço destes materiais estar a decrescer rapidamente, ainda se consideram dispendiosos, sendo que no entanto, as suas propriedades são muito promissoras. Enquanto as tecnologias de produção do alumínio estão disponíveis desde os anos 20 e 30, o processamento dos compósitos é ainda amplamente manual; existem poucas tecnologias disponíveis. Quando o alumínio surgiu na indústria aeronáutica, no início dos anos 20, a situação era totalmente diferente, a aviação estava ainda na sua infância. Não havia motores a jacto, os factos da aerodinâmica e a fadiga dos metais eram mal conhecidos, bem como o controlo de estruturas complexas como cabines pressurizadas com janelas. Portanto, de facto, o desenvolvimento da tecnologia do alumínio coincidiu com a de toda a indústria produtora de aviões (Beukers e Hinte, 1999, pp.78-79).

Para construtores de pequenos aviões, o salto do metal para os materiais compósitos não é muito difícil; no entanto, os compósitos requerem uma outra forma de pensar (Beukers e Hinte, 1999, p.59). Já existem aviões militares e civis, bem como helicópteros, feitos inteiramente de compósitos, cujo principal benefício é a melhoria da razão preço /desempenho. Uma outra vantagem importante face aos aviões metálicos é a da integração de funções: são necessárias menos partes, e a sua montagem é relativamente simples. No entanto, para que os materiais compósitos possam ser empregues em aviões de maiores dimensões, considera-se como crucial, o desenvolvimento de novos conceitos construtivos e tecnologias de produção (Beukers e Hinte, 1999, p.60). Salienta-se ainda uma outra questão:

*«...the current safety philosophy in aviation cannot simply be transplanted from aluminium to composites, because they react to stress and impact in a totally different way. For one thing metals undergo plastic deformation before they give in and break. Continuous fibre reinforced plastics simply don't. You can't kick a dent in a composite panel. It either remains undamaged or it breaks.» (Beukers e Hinte, 1999, p.79).*

Os primeiros aviões quase não continham metal; como as estruturas pré-históricas, eram constituídos essencialmente por madeira e têxteis, e eram mais leves que qualquer metal (Beukers e Hinte, 1999, p.24). Há cerca de dez mil anos, a maioria das populações eram nómadas, pelo que os seus utensílios e construções tinham de ser leves; com o estabelecimento das primeiras civilizações sedentárias decresceu a necessidade de transporte, puderam ser utilizados materiais mais duráveis, e a leveza deixou de ser um factor importante. Actualmente, a leveza está novamente a ganhar importância; com o encarecimento da energia, o desenvolvimento de estruturas leves é crucial para o desenvolvimento tecnológico e económico (Beukers e Hinte, 1999, pp.12-16). Observa-se ainda, que a evolução dos polímeros de



nos poderemos proteger com um outro veículo mais seguro e pesado, pelo que as enormes quantidades de materiais empregues na indústria automóvel, oferecem apenas uma ilusão de segurança e conforto. Apesar de a parcela de polímeros empregues ter aumentado gradualmente, os automóveis são cada vez mais pesados; os Rolls Royce foram ainda suplantados pelo novo modelo S-class da Daimler Benz, para cuja condução na Alemanha seria necessário uma carta de pesados, atendendo a que o limite de peso de veículos ligeiros é de 2410 kg. Entre 1985 e 1992, nos EUA, as empresas de automóveis pagaram mais de 233 milhões de dólares em multas ambientais, dos quais 150 milhões se atribuem à BMW e Mercedes; o peso dos carros cresce em proporção ao seu preço, os modelos de luxo são os mais pesados. As empresas argumentam que preferem pagar as multas, porque de outro modo teriam de reduzir o peso dos veículos, e já não poderiam garantir a sua segurança (Beukers e Hinte, 1999, pp.17-18).

*«Innovations and breakthrough technologies are a necessary but not a sufficient condition for the achievement of a sustainable economy. Consumer preferences, and the way consumers allow new ecological values to play a part in their behaviour and purchasing decisions, are at least as important, as are the relative prices of the goods and services on which they spend their household budgets.»* (Wim Hafkamp in Beukers e Hinte, 1999, p.112).

### **3.2.5 Contra-ataque dos metais**

A introdução dos plásticos suscitou desenvolvimentos nos processos e propriedades dos metais, aumentando a sua competitividade. Exemplos do desenvolvimento das propriedades dos metais para campos não tradicionais são os metais amorfos e as ligas com memória de forma (Manzini, 1986, pp.83-84); outros desenvolvimentos recentes nos materiais metálicos incluem ligas super plásticas, que em folha, podem ser trabalhadas como os termoplásticos; ligas com memória de forma, que exibem um comportamento semelhante ao dos materiais elastómeros (borracha, elástico); e, compósitos de matriz metálica, caracterizados por maior rigidez, leveza, e resistência a temperaturas elevadas. No entanto, os custos elevados limitam a aplicação destes materiais. Estão também a emergir tecnologias para expandir os metais (Ashby e Johnson, 2002, p.184).

*«O mundo dos metais está a demonstrar um notável dinamismo também na vertente dos processos, com uma estratégia de inovação que tenta travar o avanço dos plásticos exactamente onde estes têm mais força: na economia da transformação e na fácil formabilidade aliada à leveza. Mesmo o ferro fundido, o mais antigo dos materiais industriais, adquire nova vitalidade através de processos que permitem obter geometrias complexas e paredes mais finas, resultando produtos mais leves do que os produzidos pelos métodos tradicionais.»* (Manzini, 1986, p.82).



### **3.3 Factores que influenciam a inovação**

#### **3.3.1 Barreiras e incentivos à inovação**

Defende-se que as primeiras aplicações ocorrem em mercados que valorizam elevados níveis de desempenho e que aceitam um certo grau de risco, e que as aplicações de maior volume florescem mais frequentemente com as características opostas: a aceitação do risco depende, essencialmente, de um equilíbrio entre o valor do desempenho e o custo /prejuízo do insucesso. Exemplificando, a indústria nuclear valoriza o desempenho, mas o custo do fracasso é de tal modo elevado, que dificilmente se utilizaria um novo material num reactor (Ashby e Johnson, 2002, pp.158-159). A este respeito, Beukers e Hinte observam o seguinte:

*«The item of clothing that has to meet the highest demands is without doubt the military helmet. Up until a few years ago they were made out of steel. This may sound surprising but the more a product determines individual physical safety, the more careful one is in following new technological trends.» (Beukers e Hinte, 1999, p.133).*

Na indústria aeroespacial civil, os materiais compósitos foram primeiro introduzidos em componentes não críticos; só recentemente, em 2002, se considera seriamente a possibilidade de introduzir uma asa inteiramente constituída por materiais compósitos, num avião comercial de grandes dimensões (Ashby e Johnson, 2002, p.159). No outro extremo, para a indústria de equipamentos de desporto, o valor do desempenho é tal que se adoptam novos materiais frequentemente, por vezes ainda insuficientemente caracterizados, e cujo desempenho oferece ganhos reduzidos (Ashby e Johnson, 2002, p.159). No entanto, considera-se, que num mesmo sector industrial, existem aplicações com diferentes sensibilidades quanto ao risco (Ashby e Johnson, 2002, p.159).

Por outro lado, defende-se que os novos materiais são mais facilmente adoptados em aplicações insensíveis ao custo do material, portanto, em que o custo do material constitui uma pequena parte do custo total da aplicação; exemplos destas são aplicações especiais, de topo, como automóveis, equipamentos desportivos e biomédicos, e indústria aeroespacial. Entre estas, a indústria de equipamentos desportivos é a mais receptiva aos novos materiais, e aquela em que estes adquirem maior visibilidade, uma boa combinação, quando se procuram produtos de demonstração, para um novo material ou processo (Ashby e Johnson, 2002, p.159).

Exemplo disto é o facto de diversos materiais avançados (fibras de carbono e epoxídicas, compósitos de matriz metálica, titânio, e ligas de alumínio de elevada resistência) terem sido desenvolvidos em programas de defesa ou para aplicações especiais, mas de serem conhecidos pelo consumidor comum, essencialmente, pela sua utilização em equipamentos desportivos como tacos de golfe, raquetes de ténis ou quadros de bicicletas. A partir destas aplicações estes

materiais difundiram-se a outros produtos: relógios, carcaças de computadores leves – de que é um exemplo a utilização de titânio no iBook, mobiliário, e equipamentos de cozinha e casa de banho (Ashby e Johnson, 2002, p.161).

As diferenças entre indústrias quanto à sensibilidade ao custo dos materiais são apresentadas em Ashby e Johnson através do seguinte esquema:

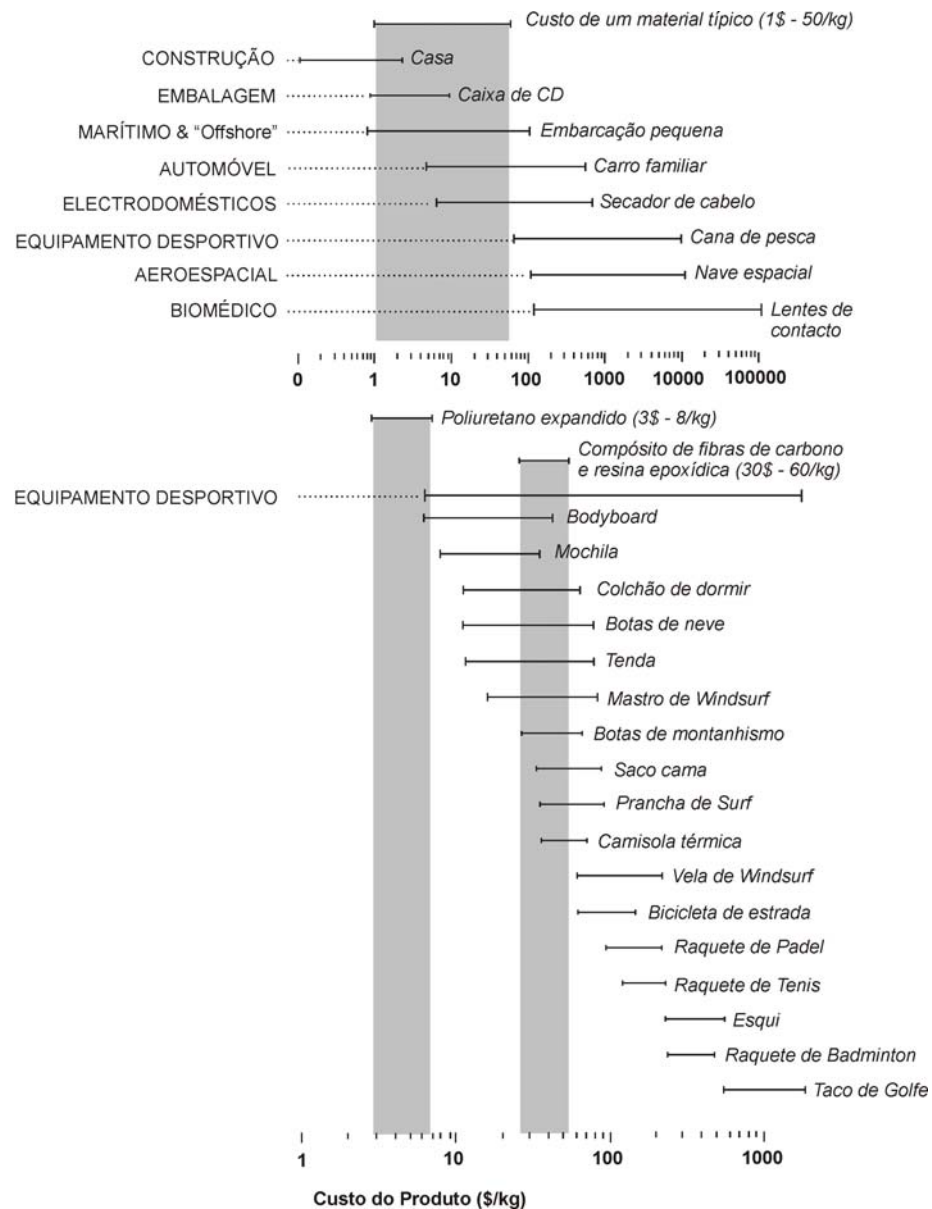


Figura 16 – Sensibilidade de diferentes indústrias ao custo dos materiais, Ashby e Johnson, 2002, p.160.

Como não existe experiência na utilização de um novo material, os níveis de confiança neste são baixos, e o investimento é arriscado. Por outro lado, no início do ciclo de vida, um material é também dispendioso. No entanto, o interesse em novos materiais permanece elevado, porque se a sua utilização for bem sucedida pode originar lucros substanciais (Ashby e Johnson, 2002, p.158).

Numa análise de diversas indústrias de equipamentos desportivos, Desbordes (2002) observa que é essencialmente nos sectores em expansão que se registam inovações nos produtos, e em que são aplicados novos materiais; e que, por sua vez, nos sectores em declínio, as actividades inovadoras tendem a focar o processo. Refere-se, que tal como investigado por outros (Abernathy, Utterback, Christensen ou Suarez), o seu trabalho confirma que o comportamento inovador depende da posição dos produtos no ciclo de vida (Desbordes, 2002, p.496). No entanto, Desbordes salienta que o trabalho de Utterback<sup>32</sup> (1994) é baseado em produtos cujo custo e desempenho são os factores determinantes, e que no sector desportivo analisado, se distinguem outros factores que influenciam a inovação, e a adopção de novos materiais; entre estes factores distinguem-se: legislação dos equipamentos para competições e aspectos simbólicos do consumo destes produtos, influenciáveis pela publicidade, moda ou mesmo novidade. Desbordes sugere a necessidade de sistematização dos factores que influenciam a inovação neste tipo de produtos, fortemente influenciados por outros factores além de custo e desempenho (Desbordes, 2002, p.496).

Identificam-se ainda dois factores que têm constituído barreiras à inovação nos produtos desportivos: a resistência à mudança, e consequente imagem histórica dos produtos; e as regras das federações internacionais (Desbordes, 2002, p.485). Também em Beukers e Hinte (1999) se exemplifica como a regulamentação pode obstruir a inovação: enquanto as raquetes de madeira desapareceram das competições de topo, na principal liga de basebol dos EUA, só é permitida a utilização de tacos de madeira (Beukers e Hinte, 1999, p.91). Desbordes refere ainda o lapso de tempo substancial entre o desenvolvimento de um material e a sua aplicação no mercado, e que a imagem de um material pode impedir a sua adopção:

*«In the history of skiing, innovations made in laboratories took a long time to be adopted in the sport. Before the 1960s, skis were made of wood, then metal was used, but plastics, particularly composite fibres, were only used after the 1970s. This was because of the negative image of this material in the consumer's mind: it was described as a cheap and practical material at the beginning, but not as a high tech solution. Aramide fibre (Kevlar) was discovered by the Du Pont laboratories in 1954, patented in 1972, but only adopted in the first skis by the French firm Rossignol in 1984. This gives us some idea of the gap that can exist*

---

<sup>32</sup> UTTERBACK, James M. (1994), *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts.

*between an innovation's discovery and its appearance in the market.» (Desbordes, 2002, pp.485-486).*

Entre as indústrias inquiridas no estudo de Desbordes, o preço dos novos materiais é considerado o factor mais restritivo à sua utilização, assinalado por mais de 90% (Desbordes, 2002, p.491). Por outro lado, apesar de os materiais compósitos apresentarem os melhores desempenhos, são ainda produzidas embarcações de madeira e metal, porque existe uma procura “tradicional” destes produtos (Desbordes, 2002, p.486, baseado em Renaudot<sup>33</sup>, 1997). É ainda referido que apesar de as indústrias de bicicletas poderem produzi-las em plástico, não o fazem porque uma tal bicicleta não corresponde à imagem de uma bicicleta de metal sólida (Desbordes, 2002, p.486). Desbordes conclui, que apesar de os artigos de desporto serem considerados ou terem uma imagem tecnológica elevada ou predominante, esta parece inadequada ou não estar de acordo com a realidade, atendendo a que nem sempre são utilizadas as tecnologias que oferecem os melhores desempenhos (Desbordes, 2002, p.486).

Um sector com uma grande resistência à utilização de novos ou diferentes materiais é o de instrumentos musicais. Atendendo a que algumas madeiras utilizadas estão em vias de extinção, considera-se importante encontrar materiais substitutos, outras madeiras, ou mesmo outros materiais. A este respeito, Ashby e Johnson (2002) expõem o exemplo de um arco de violino, em que se utiliza madeira de Pernambuco; refere-se que já se obtiveram arcos com bons desempenhos realizados com outras madeiras, ou mesmo outros materiais compósitos, mas que no entanto, existe uma resistência a estes substitutos. Defende-se que isto se deve ao facto de os materiais utilizados em instrumentos musicais não serem seleccionados apenas com base no seu desempenho mecânico e acústico; nestas aplicações, a tradição e a estética têm um papel importante, pelo que a utilização de uma madeira com cor ou textura diferente se revela numa má opção neste contexto. Salienta-se que uma forma de ultrapassar esta barreira da tradição no âmbito da adopção de um novo material, é a de persuadir ou induzir um violinista famoso a usar e recomendar o novo arco (Ashby e Johnson, 2002, pp.149-151).

O projecto da bicicleta Itera é um exemplo da diversidade de factores que podem influenciar uma inovação: a ideia base da Itera foi a de substituir o aço ou alumínio por um material plástico reforçado com fibras, em que se tirava partido das novas tecnologias de produção destes materiais, neste caso a moldação por injeção, um processo automatizado (Hult, 1992, p.374). O material utilizado foi um compósito reforçado com fibras de vidro; em consequência da utilização deste material e respectiva tecnologia de produção, a estrutura da bicicleta foi substancialmente alterada; de um modo geral, considera-se que a forma obtida tinha uma aparência pesada (Hult, 1992, p.379). A bicicleta Itera foi lançada no mercado em Abril de 1982, e em 1985 a sua produção cessou (Hult, 1992, pp.380-381). Distinguem-se diversas razões que poderão ter contribuído para o insucesso da Itera: económicas, técnicas e estéticas (Hult, 1992, p.384).

---

<sup>33</sup> Renaudot, Frédéric, Wauquiez R&D director, interview, 2 November 1997.

Em 1982, as vendas de bicicletas eram já inferiores às dos anos anteriores, o mercado estava em declínio; a Itera era relativamente dispendiosa, o seu preço era idêntico ou ligeiramente superior ao das outras bicicletas; com base numa consulta aos consumidores, formou-se a expectativa de que a bicicleta seria um produto de moda, e bem recebido por um segmento de jovens profissionais urbanos (Hult, 1992, p.381). No entanto isto não se verificou: a bicicleta não se tornou numa tendência da moda, nem num símbolo de estatuto em nenhum segmento do mercado (Hult, 1992, p.382). Em Hult sugere-se que uma das razões poderá dever-se às associações dos materiais plásticos; como quando os plásticos surgiram foram introduzidos em substituição de outros materiais, como os metais, e o seu desempenho se revelou inferior, estes adquiriram uma má reputação, que apesar do desenvolvimento de plásticos de elevada qualidade, pode levar algum tempo até que esta percepção desapareça (Hult, 1992, p.382 baseado em Meikle<sup>34</sup>, 1986).

Um outro aspecto que terá contribuído para o insucesso da Itera foi o facto de a estrutura não ser suficientemente rígida; a flexibilidade causava alguma insegurança (Hult, 1992, p.382). Por outro lado, para que se conseguissem níveis razoáveis de rigidez, foi necessário utilizar uma quantidade considerável de material, pelo que o peso da Itera era idêntico ao das outras bicicletas. Acresce ainda, o facto de a aparência estética da bicicleta ser pouco convencional, ou diferente, e de não ter sido considerada atractiva (Hult, 1992, p.383). Salienta-se que uma forma diferente é por vezes muito vantajosa, mas que a diferença entre o arquétipo das outras bicicletas e a Itera era muito acentuada (Hult, 1992, p.384). É ainda referido em Ljungberg e Edwards que o material apresentava uma coloração cinza acastanhado, que se considera não ter sido favorável para a adopção do produto (Ljungberg e Edwards, 2003, p.521 baseados em Hult<sup>35</sup>, 1989).

Na sua maioria, os produtos têm uma vida útil limitada; o seu ciclo de vida pode ser classificado em 4 fases distintas: Introdução, crescimento, maturidade e declínio; salienta-se que os produtos não devem ser lançados quando existe um risco de declínio no mercado (Ljungberg e Edwards, 2003, p.521 baseados em Gorchels<sup>36</sup>, 2000), e de que é um exemplo a bicicleta Itera (Ljungberg e Edwards, 2003, p.521). É também referido em Ljungberg e Edwards, que os novos equipamentos de segurança de um produto não podem ser patenteados, de que constituem exemplos os sistemas de protecção de colisão da Volvo (Ljungberg e Edwards, 2003, p.522).

Em aplicações de engenharia civil, a utilização de materiais avançados é por vezes limitada pelo custo, e por incertezas quanto à sua durabilidade ao longo do tempo; para que os novos materiais sejam adoptados, os benefícios da sua aplicação têm de suplantarem os riscos do insucesso. O Millennium Dome de Londres é um exemplo em que foi aplicado um novo material na

---

<sup>34</sup> Meikle, J. L. (1986), Plastic, Material of a Thousand Uses, in Corn, J. J. (ed.), *Imagining Tomorrow*, Cambridge, MA: MIT Press, 1986, pp.77-96.

<sup>35</sup> Hult, J. (1989), Plastcykeln Itera. *Polhem Tidskrift Teknikhist*, 7, pp.183-195.

<sup>36</sup> Gorchels, L. (2000), *The product manager's handbook: the complete product management resource*. Lincolnwood, IL: NTC Business Books.

cobertura, PTFE revestido com fibra de vidro (Ashby e Johnson, 2002, p.159). Manzini observa que apesar de as tensoestruturas se estarem a estabelecer no sector da construção, e de permitirem desempenhos elevados e uma nova imagem, o facto de lhes estarem inerentes geometrias especiais, constitui um obstáculo à sua difusão; *«É por isso que estão confinadas a utilizações especiais, em que as suas características excepcionais e a ausência de uma tradição de construção facilitam a aceitação da novidade técnica e formal.»* (Manzini, 1986, p.115). E, como referido anteriormente no âmbito da Revolução Industrial, também nessa altura se haviam utilizado os novos materiais em construções não tradicionais (Janson, 1986, p.746). A respeito da difusão das inovações no sector da construção Manzini expõe o seguinte:

*«A inovação penetrou no sector da construção de modo quase imperceptível, transformando a materialidade sem afectar as profundas alterações na organização dos processos de fabrico ou na imagem. Actualmente, pouco resta de todas as ideias de alteração radical dos métodos de construção que eram ventilados nas décadas passadas, nos debates sobre a construção industrializada. E todavia, a acumulação de muitas transformações de pequeno alcance gerou um novo contexto, caracterizado por materiais que podem ser erigidos mais rapidamente e que são geralmente mais leves. Leveza que não foi propositadamente procurada...»* (Manzini, 1986, p.116).

Acerca do sector automóvel, refere-se, que por razões económicas, e em consequência dos elevados níveis de integração da produção, este sector é demasiado estável para adoptar uma nova ideia na totalidade (mudança total do carro) (Manzini, 1986, p.109).

Entre os factores que inibem a substituição, distinguem-se: ao nível do design, a falta de dados adequados e confiáveis; ao nível da produção, os custos de arranque; ao nível da organização identifica-se a inércia em continuar com o passado, retardando a introdução do novo; o governo, a sociedade e os indivíduos podem também bloquear ou atrasar a substituição; certos materiais têm ainda particularidades difíceis de substituir; e, a interdependência com outras tecnologias, e a necessidade de desenvolvimentos relacionados, pode também inibir ou retardar a substituição (Schlabach, 1990, p.596). Por outro lado, salienta-se que os engenheiros de design são conservadores nos seus julgamentos técnicos, e que geralmente, são recompensados com base na eficiência inicial do seu trabalho, e não em considerações acerca do fim de vida e possibilidade de reciclagem dos produtos (Schlabach, 1990, p.595).

Wield e Roy (1995) distinguem alguns factores frequentemente considerados como barreiras às inovações de materiais: longos tempos de desenvolvimento até à exploração comercial; a necessidade de investimento em novos sistemas de produção; os elevados níveis gerais de investimento; a relutância dos utilizadores em adoptarem novos materiais sem o conhecimento do seu desempenho a longo prazo; e, um ambiente de inovação complexo, com diversos agentes envolvidos, atendendo a que os materiais são bens intermediários, a serem posteriormente utilizados em produtos (Wield e Roy, 1995, p.199).

A inovação de novos materiais tem sido caracterizada por longos períodos de gestação entre a invenção técnica e a primeira aplicação comercial, e por um longo período de substituição entre a primeira aplicação comercial e o uso generalizado do novo material; o polietileno, metais amorfos, compósitos de matriz metálica, e cerâmicos técnicos para aplicações mecânicas, são exemplos de materiais que tiveram períodos de gestação de 20 ou mais anos (Maine et al., 2005, p.16 baseados em Maine<sup>37</sup>, 2000). Considera-se que as principais barreiras à gestão tecnológica de inovações de novos materiais têm sido: o período de tempo que decorre entre a descoberta do novo material e a sua bem sucedida introdução no mercado integrada num produto; e, os avultados investimentos necessários ao desenvolvimento do material inovador até à etapa da sua comercialização (Maine et al., 2005, p.16). Em Maine et al. expõe-se o seguinte:

*«Market demand estimates are always uncertain. If the innovation is deemed viable, performance and cost characteristics can help in estimating penetration rates of the material into the defined markets. This is accomplished by forecasting the penetration rates for the new materials innovation based on a historical material substitution curve of a material with similar performance and cost characteristics (Maine<sup>38</sup>, 1997). Lower cost /lower performance innovations serve the minimum requirements of customers for the application. For substitution to occur, this lesser functionality must be provided at a reduced cost. Oriented strand-board substituting for plywood in furniture and construction applications is an example of this type of substitution. An example of technological innovation allowing for performance enhancements but at higher cost is carbon fibre reinforced plastic boat hulls substituting for wood hulls. If the materials innovation enables entirely new applications, it does not need to be compared with an existing product or technology, but, rather, with assessed customer requirements and safety standards.» (Maine et al., 2005, p.20).*

A longa duração dos períodos de gestação e substituição dos novos materiais é atribuída a diversos factores, entre os quais, os elevados custos iniciais das invenções, barreiras económicas à substituição dos materiais estabelecidos, e um conhecimento insuficiente por parte dos inventores acerca das possíveis aplicações no mercado. Supõe-se que este longo período de gestação se deve também, parcialmente, a um desfasamento entre designers e empresários, no que respeita à compreensão das necessidades do mercado, e ao desenvolvimento de novos materiais para várias aplicações. Defende-se que este desfasamento será ainda acentuado pelos diversos níveis de separação entre o material e o consumidor final (Maine et al., 2005, p.16); o material é um subproduto que tem ainda de ser integrado num produto final.

---

<sup>37</sup> Maine, E. (2000), *Innovation and Adoption of New Materials*. PhD Thesis, University of Cambridge.

<sup>38</sup> Maine, E. (1997), *Future of Polymers in Automotive Applications*. Dissertation for Master's of Science in Technology and Policy, MIT.

### 3.3.2 Legislação ambiental – oportunidade para inovar

Como exposto anteriormente acerca da substituição dos metais, a legislação ambiental emergiu como um factor influente. No âmbito do desenvolvimento de novos produtos, Tidd et al. (2001) consideram que a legislação pode criar oportunidades ou constrangimentos, e referem o exemplo dos requisitos ambientais que visam a criação de produtos mais amigos do ambiente (Tidd et al., 2001, p.5).

Delaplace e Kabouya (2001) expõem o exemplo de um produto com melhor desempenho ambiental, embalagens de plástico biodegradáveis, em que na Alemanha, a legislação ambiental favorece a adopção destes materiais, nomeadamente, pela aplicação de medidas como “o princípio de que o poluidor paga” (Polluter Pays Principle) no sector de embalagens. De um modo geral, considera-se que o quadro regulamentar alemão relativo à gestão de lixo, oferece condições favoráveis à difusão de materiais biodegradáveis (Delaplace e Kabouya, 2001, p.183). Defende-se que a legislação ambiental afectará, em particular, as inovações desenvolvidas para dar resposta aos problemas ambientais; no entanto, por sua vez, as novas tecnologias sustentáveis podem também encontrar barreiras regulamentares à sua difusão, atendendo a que estas foram desenvolvidas no contexto das tecnologias tradicionais (Delaplace e Kabouya, 2001, p.184).

*«Concern to minimize the ecological burden created by engineered products heightens the awareness of design for the environment, and, in the longer term, design for sustainability. And, in the markets of the 21<sup>st</sup> century, consumers want much more than a product that functions well and at an affordable price; they also want satisfaction and delight, making inputs from industrial design and aesthetics a high priority.» (Ashby e Johnson, 2002, p.7).*

A redução do impacto ambiental dos materiais pode ser alcançada através de várias medidas, entre as quais, a reciclagem, a utilização de materiais renováveis, a miniaturização, e a substituição de bens por serviços (Ashby e Johnson, 2002, pp.12-13).

Neste contexto considera-se ainda o seguinte:

*«Probably the most effective measure of all is that of increasing product life ... this refocuses the spotlight on industrial design – people don't discard possessions they love.» (Ashby e Johnson, 2002, pp.12-13).*



### 3.3.3 Design de materiais

A maioria do desenvolvimento de materiais tem origem numa necessidade técnica, e não em motivos de design industrial (Ashby e Johnson, 2002, p.41). Por outro lado, a maior parte dos novos materiais surge através da comercialização da investigação, pelo que o seu desenvolvimento é guiado pela ciência (Ashby e Johnson, 2002, p.161). Entre as implicações para o design distinguem-se: o facto de a informação disponível ser essencialmente técnica, o que não é suficiente para o design; o facto de a informação ser muito específica – ciência e engenharia de materiais – e de alguma informação não ser acessível aos profissionais de design; e ainda, o facto de a informação acerca dos novos materiais ser divulgada por entidades interessadas na sua divulgação, pelo que a informação, ainda que séria, é por vezes incompleta (Ashby e Johnson, 2002, pp.161-162).

No entanto, considera-se que a investigação de materiais, orientada no passado para aplicações militares e aeroespaciais, está agora mais direccionada para o consumidor. Ainda assim, no âmbito do design de produtos, distinguem-se dois desafios: colmatar o lapso de informação encontrado por designers de produtos que pretendem utilizar novos materiais, e ultrapassar a dificuldade em os mesmos designers estimularem os fornecedores a desenvolverem materiais com os atributos pretendidos (Ashby e Johnson, 2002, p.161); portanto, a elaboração de informação adequada à profissão, e a participação desta no design de materiais.

Salienta-se ainda o seguinte:

*«The attributes that bear on industrial design are far harder to find ... the need is for visual and tactile attributes – those that help create the associations and perceptions of a product.»* (Ashby e Johnson, 2002, p.162).

Também Rognoli (2003) observa que não existe falta de informação acerca da engenharia dos materiais, mas que existe necessidade de investigar a expressão estética e valores dos materiais. Defende-se, inclusive, que num projecto de design, ainda que se considere o desempenho técnico dos materiais, a prioridade são as suas propriedades estéticas e sensoriais (Rognoli, 2003, pp.132-133). Ashby e Johnson distinguem 4 dimensões dos materiais; técnica, ecológica, estética e cultural:

*«...a material has many dimensions: a technical dimension, the one seen by the engineer; an eco-dimension, that seen by the environmentalist; an aesthetic dimension, the one encountered by the senses of sight, touch, hearing; and a dimension that derives its features from the way in which the material is perceived, its traditions, the culture of its use, its associations, its personality.»* (Ashby e Johnson, 2002, p.169).

Na etapa seguinte propõe-se uma caracterização destas dimensões da madeira.

### 3.4 Conclusão

Como exposto, a inovação é um processo complexo, e em que intervém uma multiplicidade de factores. Se por vezes os novos materiais criam novas áreas de aplicação, em muitas situações, são utilizados em substituição de materiais estabelecidos, incitando a competitividade e inovação.

*Que factores influenciam a inovação, substituição, competitividade e difusão dos materiais? Que barreiras e incentivos se identificam?*

Entre os factores que têm suscitado a inovação distinguem-se: a evolução do conhecimento acerca das propriedades dos materiais, e de tecnologias para a sua caracterização e processamento; a competitividade entre os materiais, na medida em que incita desenvolvimentos mútuos; o interesse económico em obter materiais a custos inferiores e /ou com desempenhos melhorados; a colaboração entre ciência e tecnologia dos materiais, através duma optimização e orientação da investigação para as aplicações. Entre os incentivos, destacam-se as questões ambientais, através da introdução de legislação que visa minorar o impacto ambiental dos materiais.

Identificam-se outros factores que constituem barreiras à inovação: os elevados tempos de desenvolvimento dos materiais e tecnologias; os custos inerentes ao seu desenvolvimento; a regulamentação e políticas; e, diversos aspectos sócio-culturais.

Conclui-se, portanto, que a utilização dos materiais depende de diversos factores: ao nível dos materiais – como disponibilidade, propriedades, tecnologias, custo, estética, e valores e significados transportados; ao nível do contexto /ambiente económico, político e sócio-cultural; e ao nível das aplicações e /ou indústrias em questão.

## 4 Materiais e ambiente – desempenho ambiental da madeira

Considera-se que as questões ambientais são um aspecto importante a considerar, no âmbito da substituição entre materiais: segundo Burrows e Sanness (1999), este é um dos factores que tem contribuído para a substituição da madeira por outros materiais. Como um recurso renovável, entre outras características, a madeira é considerada uma melhor alternativa ambiental; no entanto, identifica-se a existência de publicidade ambiental enganosa a respeito dos outros materiais, enquanto por parte das indústrias da madeira existe pouca comunicação, essencialmente devido à fragmentação do sector. Ainda que a madeira seja percebida como o material com menor impacto ambiental, defende-se que a publicidade das outras indústrias tem manipulado esta percepção em seu favor, explorando a sensibilidade dos consumidores acerca da desflorestação, de que constitui um exemplo o slogan ‘Save a tree, use PVC’, e omitindo os sérios problemas inerentes às outras indústrias (Burrows e Sanness, 1999).

Actualmente, considera-se importante utilizar a madeira em substituição de outros materiais, dados os seus benefícios ambientais, sendo esta questão consensual na literatura revista. Segundo Gielen (1995), apesar de a madeira ter sido substituída por outros materiais, é provável que a tendência de utilização de materiais que utilizam recursos fósseis (directa ou indirectamente) cesse, devido à implementação de políticas ambientais que visam reduzir as emissões de gases com efeito de estufa; e, neste contexto, defende-se que a madeira terá um papel importante (Gielen, 1995). Portanto, depois de a madeira ter sido substituída por outros materiais (factores diversos, eventualmente também ambientais mais recentemente), deparamo-nos agora com o desafio de inverter esta situação, substituindo outros materiais por madeira.

Em primeiro lugar, no ponto 4.1, procurar-se-á esclarecer quais as principais questões ambientais, como os materiais contribuem para esses problemas, e como consumir estes recursos de modo sustentável.

*Como é que os materiais contribuem para os problemas ambientais?*

*Como consumir os recursos materiais de forma sustentável?*

Em 4.2, caracteriza-se o desempenho ambiental da madeira, face ao de outros materiais; são discutidas as principais questões, e apresentados os resultados de diversos estudos comparativos, demonstrando a supremacia das qualidades ambientais da madeira.

*A madeira é uma alternativa sustentável?*

*A madeira é a melhor alternativa ambiental?*

De seguida, em 4.3, expõem-se os resultados de alguns estudos acerca da percepção ambiental da madeira; discute-se ainda as percepções das florestas e de algumas indústrias.

*A madeira é percebida como a melhor alternativa ambiental?*

## **4.1 Consumo de materiais e sustentabilidade**

### **4.1.1 Consumo de materiais**

A utilização intensiva de materiais durante o século XX tem raízes históricas profundas; desde a Revolução Industrial, avanços tecnológicos, mudanças sociais e nas práticas de negócio, interagiram em criar economias que podiam extrair, processar, consumir e descartar enormes quantidades de materiais. Apesar de as raízes destas tendências se estenderem por séculos, a maioria atingiu a maturidade apenas nos últimos 100 anos (Gardner e Sampat, 1998, p.9, baseados em Stearns, 1993<sup>39</sup>).

O consumo de materiais continua a crescer substancialmente. Em 1970, o total mundial de materiais consumidos foi de 5,7 biliões de toneladas métricas; em 1995 este valor foi de 9,5 biliões. De todos os materiais consumidos durante o século XX, até 1995, mais de metade foram-no a partir de 1970 (Matos e Wagner, 1998). Os materiais de construção são claramente a categoria de maior consumo (Matthews et al., 2000, p.30). Alguns materiais de construção, os agregados naturais (pedra esmagada, areia de construção e cascalho – excluindo madeira, metais, cimento, gesso para painéis e asfalto para estradas) foram os materiais mais utilizados durante o século XX, representando três quartos (em peso) do total de recursos consumidos anualmente nos Estados Unidos. Este país<sup>40</sup> tem sido responsável por uma grande parte dos recursos consumidos, ainda que entre 1970 e 1995, o seu crescimento tenha sido inferior ao do total mundial; em 1970 foram consumidas 2 biliões de toneladas métricas, e em 1995, 2,8 biliões; em 1995, os Estados Unidos representavam apenas 5% da população mundial (Matos e Wagner, 1998).

No entanto, actualmente, apesar da reputação deste país em construir grandes edifícios e utilizar muitos materiais, não é nos Estados Unidos que se encontram os níveis mais elevados de consumo. De entre os países analisados em Matthews et al. (Alemanha, Áustria, Estados Unidos, Holanda e Japão), os Estados Unidos são aparentemente o que consome menos, quase 8 toneladas métricas por pessoa, anualmente; na Áustria e na Alemanha registaram-se os maiores níveis de consumo, cerca de 11,5 toneladas métricas por pessoa (Matthews et al., 2000, pp.28-29). As tradições e códigos de construção nacionais parecem influenciar significativamente os fluxos de materiais utilizados; em alguns locais da Europa, o consumo de materiais (em toneladas métricas) é muito acentuado, o que poderá reflectir a preferência para construir em pedra e em tijolos, enquanto nos Estados Unidos, são preferidas técnicas leves de construção com estrutura em madeira (Matthews et al., 2000, pp.30-31).

Nos Estados Unidos o consumo de matérias-primas cresceu substancialmente desde o início do século XX; a quantidade de materiais consumidos cresceu de 161 milhões de toneladas

---

<sup>39</sup> Stearns, Peter N. (1993), *The Industrial Revolution in World History*, Boulder, CO: Westview Press.

<sup>40</sup> É nos estados Unidos que há mais informação (Matos e Wagner, 1998).

métricas em 1900, para 2.8 bilhões de toneladas métricas em 1995, um aumento superior em dezassete vezes; em média, por pessoa, este crescimento foi de cerca de cinco vezes. E, no que respeita ao tipo de materiais consumidos, também se observou uma mudança significativa: em 1900, 41% dos materiais consumidos (em peso) eram renováveis; em 1995 estes representavam apenas 8% do total de materiais consumidos pelo país (Matos e Wagner, 1998).

A classe de materiais orgânicos não renováveis, utilizados, nomeadamente, na produção de plásticos, asfalto, fibras e petroquímicos, apresentou um consumo de 131 milhões de toneladas métricas em 1995, nos EUA; em 1900 o seu consumo fora apenas de 2 milhões. O consumo destes materiais expandiu-se como resultado do desenvolvimento de novos produtos e mercados, bem como pela substituição de outros materiais em diversas aplicações; os plásticos substituíram a madeira, e as fibras e óleos sintéticos substituíram as fibras e óleos naturais. Esta quantidade (em peso) é superior ao consumo de produtos de madeira, e é idêntica ao conjunto de metais primários e reciclados consumidos em 1995 (Matos e Wagner, 1998). Actualmente deparamo-nos com a necessidade de inverter esta situação e de voltar à utilização de materiais naturais.

A substituição de materiais pode ser acelerada através da introdução de critérios ambientais severos em estratégias de substituição. Porque o uso de materiais não renováveis, em especial os petroquímicos, é por último insustentável, considera-se que estes devem ser substituídos por materiais baseados em biomassa; materiais biodegradáveis, produzidos a partir de plantas, óleos e enzimas, podem substituir os materiais sintéticos, e eliminar impactos tóxicos para o ambiente e saúde humana. (Gardner e Sampat, 1998, pp.40-41, baseados em Morris e Ahmed, 1992<sup>41</sup>; e OTA, 1993<sup>42</sup>).

Considerando o ciclo de vida completo dos materiais, os fluxos consequentes ("output flows"), que são potencialmente tóxicos ou perigosos para o ambiente, cresceram em cerca de 30% nos Estados Unidos, desde 1975. Este aumento parece dever-se principalmente ao crescente uso de materiais orgânicos sintéticos e de numerosos subprodutos associados aos combustíveis fósseis. Isto sugere a necessidade de medidas com foco na extracção de recursos, bem como no design inicial de componentes materiais dos produtos, de modo a reduzir os problemas associados à gestão e tratamento das substâncias perigosas posteriormente, quando estas já se encontram no ambiente, nas fases de uso ou de deposição (Matthews et al., 2000, p.34).

Os combustíveis fósseis são recursos não renováveis; quando queimados emitem diversas substâncias poluentes, entre as quais, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), um gás com efeito de estufa (Meadows et al., 2004, p.89). Desde 1975, nos países estudados em Matthews et al., as emissões de CO<sub>2</sub> cresceram em todos os países excepto na Alemanha, cujo menor nível de emissões resulta duma melhor eficiência energética alcançada na sequência da crise energética dos anos

---

<sup>41</sup> Morris, David e Ahmed, Irshad (1992), *The Carbohydrate Economy: Making Chemicals and Industrial Materials from Plant Matter*, Washington, DC: Institute for Local Self-Reliance.

<sup>42</sup> OTA (1993), *Biopolymers: Making Materials Nature's Way*, Office of Technology Assessment, Washington, DC: U.S. GPO, September 1993.

70 (Matthews et al., 2000, p.21). Os combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás) são francamente limitados; considera-se que a era destes combustíveis será uma curta passagem na história da civilização humana. Optimistas e pessimistas diferem em algumas décadas acerca de quando a produção de petróleo atingirá o seu auge, mas existe um consenso substancial de que isto irá ocorrer durante a primeira metade deste século, e de que o petróleo é o mais limitado dos combustíveis fósseis (Meadows et al., 2004, p.95 e p.87).

O consumo de metais (em peso) apresentou um ligeiro declínio, cresceu menos, durante as últimas décadas relativamente aos outros materiais. Entre as razões que contribuem para uma redução do consumo de metais distinguem-se a necessidade de utilizar materiais mais leves, nomeadamente o alumínio, a introdução de ligas de aço de elevada resistência em veículos, e a disponibilidade de materiais substitutos mais baratos, como os plásticos (Matos e Wagner, 1998).

Talvez se possa considerar que um dos principais estímulos à extracção de materiais tenha sido a atribuição de incentivos económicos pelos governos à produção de materiais; nos Estados Unidos, uma lei em vigor desde 1872, permite que os mineiros explorem terras federais para o efeito por 12\$ por hectare, e não é cobrado qualquer imposto sobre os metais extraídos; este título permite ainda, a construção de casas, criação de gado, extracção de madeira, e mudança dos cursos de água, sem qualquer encargo adicional. Um outro exemplo é o dos subsídios atribuídos aos combustíveis fósseis, que tornam artificialmente baratos os produtos de construção à base de petróleo, nomeadamente o asfalto e tubagens /condutas para água de plástico (Gardner e Sampat, 1998, p.10 e p.48, baseados em Wilkinson, 1992<sup>43</sup>).

Uma tendência importante dos materiais metálicos é a crescente reciclagem destes materiais; em 1970, os metais consumidos incluíam 31% de material reciclado; em 1995 os metais reciclados representaram 47% do consumo destes materiais nos Estados Unidos (Matos e Wagner, 1998 baseados em Rogich, 1993<sup>44</sup>). A reciclagem dos metais é um aspecto importante, na medida em que permite benefícios ambientais na redução do consumo de energia, redução das emissões consequentes, e redução do volume de desperdício (Matos e Wagner, 1998 baseados em US Geological Survey, 1995 e 1965); a reciclagem do alumínio permite poupar 95% da energia necessária à obtenção do metal primário (Matos e Wagner, 1998 baseados em Wilburn e Wagner, 1993<sup>45</sup>).

Apesar de muitos minerais serem substâncias abundantes, a sua utilização depende de diversas questões: a exploração de minérios cada vez mais pobres pode ser limitada pela disponibilidade e impacto ambiental das elevadas quantidades de energia e água necessárias ao

---

<sup>43</sup> Wilkinson, Charles (1992), *Crossing the Next Meridian: Land, Water and the Future of the West*, Washington, DC: Island Press.

<sup>44</sup> Rogich, D.G. (1993), Material use, economic growth, and the environment. *Nonrenw. Resour.* 5(4), pp.197-210.

<sup>45</sup> Wilburn, D., Wagner, L. (1993), *Aluminum Availability and Supply, A Minerals Availability Appraisal.*, US Bur. Mines, IC 9371, p.93. Washington, DC: US Bur. Mines.

processamento do minério; preferência da sociedade em utilizar a terra para outros propósitos, como protecção da diversidade biológica e da vida selvagem, ou agricultura; intolerância ao impacto ambiental da indústria mineral por parte das comunidades; mudanças nos padrões de uso; e, limites na capacidade de o ecossistema absorver os produtos e subprodutos minerais, em especial dos metais, que se acumulam no ar, na água, no solo e vegetação (Meadows et al., 2004, p.106, citando IIED e WBCSD, 2002<sup>46</sup>).

O consumo de produtos de madeira (madeira serrada, contraplacado e folha) nos Estados Unidos, entre 1900 e 1995, permaneceu essencialmente constante, sendo em média, inferior a 100 milhões de toneladas métricas (observável em Matos e Wagner, 1998). Deste modo, se em 1900 o consumo de produtos de madeira representava quase 40% do total de materiais consumidos, em 1995, essa percentagem era muito inferior; em média, entre 1960 e 1995, estes produtos correspondem a cerca de 6% do total de materiais consumidos (Matos e Wagner, 1998).

Defende-se que não há evidência de uma desmaterialização efectiva do consumo de recursos; é certo que o sector dos serviços tem crescido de forma mais acelerada, mas os outros sectores também continuam a crescer em termos absolutos (Gardner e Sampat, 1998; Matthews et al., 2000; Meadows et al., 2004, pp.40-41, Cleveland e Ruth, 1999). Alguns factores contribuem para o contínuo crescimento do consumo de materiais: ineficiência tecnológica, mesmo em sectores sofisticados; estilos de vida dos consumidores e respectivos padrões de consumo; e diferentes estruturas demográficas, nomeadamente, o crescimento do número de habitações em alguns países europeus é superior ao da população (Matthews et al., 2000, pp.19-20 e p.30).

Matthews et al. concluem que:

*«...material outflows to the environment are still a cause for concern. Some toxic and hazardous flows have been controlled but many others have not. Numerous flows remain undocumented and outside the purview of environmental agencies. Fossil fuel combustion is the dominant activity of modern industrial economies and is the single largest contributor to material outflows to the air and on land. Most of these flows are hazardous to human health or the environment. Technological advances and economic restructuring have contributed to significant decoupling between rates of economic growth and material throughput but they have not achieved any overall reduction in resource use or waste volumes. Policies will therefore be needed to accelerate the trend toward dematerialization and to encourage substitution of benign materials for those that are environmentally harmful.»* (Matthews et al., 2000, p.41).

---

<sup>46</sup> International Institute for Environment and Development and World Business Council for Sustainable Development (2002), *Breaking New Ground: Mining, Minerals, and Sustainable Development*, Earthscan, London.

#### 4.1.2 Limites ao impacto ambiental

Wackernagel et al. (2002) determinaram o impacto ambiental da humanidade, a sua *Pegada Ecológica*, através da determinação da quantidade de terra e água necessárias para produzir os recursos consumidos, e absorver o desperdício gerado durante um ano. O estudo, baseado em informação de 40 anos consecutivos, de 1961 a 1999, demonstra que as actividades humanas excedem a capacidade da biosfera desde os anos 80; em 1961 utilizámos 70% da capacidade desta, e em 1999 cerca de 120%; o impacto ultrapassou em 20% o que planeta proporciona durante 1 ano, sendo que, para suprir estes níveis de consumo, seriam necessários 1.2 anos, ou 1.2 Terras.

O crescimento de qualquer coisa física não pode continuar indefinidamente, nomeadamente população, carros e casas, na medida em que a Terra é finita. Existem limites ao crescimento; quando ultrapassamos esses limites (“overshoot”) identificam-se duas possibilidades: o colapso, ou a transição para um sistema sustentável (Meadows et al., 2004, p.8 e 13).

Estes limites estão directamente relacionados com a taxa a que a humanidade pode extrair recursos e emitir desperdícios, sem exceder as capacidades produtivas e de absorção do planeta (Meadows et al., 2004, p.9), portanto, com o conceito de *Pegada Ecológica*. Meadows et al. simulam diferentes cenários, através da introdução de medidas de transição no sistema; dos dados apresentados, percebemos que o colapso é possível ou mesmo provável, e que a transição para uma situação sustentável requer inúmeras medidas, bem como um empenho global. Mas a questão central não é a de que os recursos podem acabar; em todos os cenários produzidos, ainda havia uma fracção substancial de recursos em 2100. A situação de colapso e o significado de “*limits to growth*” advêm, essencialmente, do impacto que a utilização desses recursos provoca no ambiente, e da consequente subida dos custos (factores físicos, ambientais e sociais), prevendo-se que estes sejam suficientemente elevados para reverter a curva de crescimento, contraindo a economia (Meadows et al., 2004, p.51 e p.xx - prefácio).

Meadows et al. efectuem uma análise do estado do planeta, considerando existir evidência para as seguintes conclusões:

- A economia humana utiliza muitos recursos críticos e produz desperdício a taxas que não são sustentáveis (...).
- Estas taxas elevadas de utilização não são necessárias; mudanças técnicas, institucionais, e de distribuição poderiam reduzi-las significativamente, mantendo ou até melhorando a qualidade de vida média da população mundial.
- A sobrecarga humana no ambiente natural já ultrapassou os níveis de sustentabilidade, e não pode ser mantida por mais de uma ou duas gerações. Consequentemente, existem já aparentes impactos negativos na saúde humana e na economia.
- O custo real dos materiais está a aumentar. (Meadows et al., 2004, p.56).



#### 4.1.3 Materiais e sustentabilidade

Em 1987, a Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento (World Commission on Environment and Development), definiu que uma sociedade sustentável atende às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de as futuras gerações suprirem as suas próprias necessidades (Meadows et al., 2004, p.254). Desta definição, subentende-se desde já, a necessidade de preservar os recursos do planeta. No entanto, considera-se que o conceito de desenvolvimento sustentável assenta no equilíbrio de três vertentes: ambiental, económica, e social (Youngquist, 2000). Para Meadows et al., outras questões estruturais emergem no âmbito da sustentabilidade:

*«A sustainable society would be interested in qualitative development, not physical expansion. It would use material growth as a considered tool, not a perpetual mandate. Neither for nor against growth, it would begin to discriminate among kinds of growth and purposes for growth. It could even entertain rationally the idea of purposeful negative growth, to undo excess, to get below limits, to cease doing things that, in a full accounting of natural and social costs, actually cost more than they are worth».* (Meadows et al., 2004, p.255).

O conceito de sustentabilidade é complexo e multifacetado; deter-nos-emos em considerar, apenas, alguns contributos considerados pertinentes no âmbito da prossecução de uma sustentabilidade ambiental, em particular no que respeita ao consumo de recursos, com o intuito de compreender como podemos utilizar os materiais de forma sustentável.

A utilização de qualquer recurso, envolve sempre algum tipo de impacto ambiental em cada uma das fases do ciclo de vida dos materiais, desde a extracção ou abate até à deposição final (Matthews et al., 2000, p.2). Uma condição essencial para a sustentabilidade ecológica, é a de que o consumo de recursos não ultrapasse o que a natureza pode fornecer; a sustentabilidade requer viver sob /dentro da capacidade regenerativa da biosfera (Wackernagel et al., 2002).

Os materiais derivam de recursos, classificados como renováveis ou não renováveis. Os renováveis são aqueles que se auto-regeneram, como a madeira, sendo que, se consumidos até à exaustão, podem tornar-se não renováveis. Os recursos não renováveis são formados durante longos períodos de tempo geológico, e incluem metais, minerais e materiais orgânicos (Matos e Wagner, 1998).

Herman Daly (1990)<sup>47</sup> sugeriu três regras, que visam o consumo sustentado de materiais e energia:

- A utilização de um recurso renovável não deve exceder a sua taxa de regeneração.

---

<sup>47</sup> Daly, Herman (1990), Toward Some Operational Principles of Sustainable Development, *Ecological Economics*, 2, pp.1-6.

- A utilização de um recurso não renovável não deve exceder a taxa à qual se desenvolve de forma sustentada um substituto renovável.
- A taxa de emissões poluentes não deve exceder a capacidade de assimilação do ambiente. (Meadows et al., 2004, p.54 e 254 baseados em Herman Daly, 1990).

Meadows et al. apresentam também alguns princípios que podem contribuir para um sistema sustentável; de entre estes, três estão directamente relacionados com o consumo de recursos:

- Minimizar a utilização de recursos não renováveis.
- Prevenir a erosão dos recursos renováveis.
- Utilizar todos os recursos com uma eficiência máxima.

(Meadows et al., 2004, pp.259-260).

Gardner e Sampat (1998) consideram que ainda não houve uma redução substancial na utilização dos materiais, essencialmente, por falta de intenção de o fazer: a mudança para uma economia baseada em serviços teve origem em factores económicos, e não no desejo de reduzir a utilização de materiais; melhoramentos ao nível da eficiência dos materiais, em especial a tendência para a leveza, também têm origem em questões económicas; e a reciclagem foi motivada pelo desejo de reduzir o desperdício, é uma iniciativa de correcção, do fim do ciclo de vida ("end-of-the-pipe"), e como tal tem um âmbito limitado. E, em todo o caso, os ganhos alcançados inadvertidamente, foram suplantados por crescentes níveis de consumo (Gardner e Sampat, 1998, pp.31-32).

O princípio de abordar o ciclo de vida dos produtos teve origem no início na década de 70 (Cooper, 2005). Existem diversas medidas que visam minorar o impacto da utilização de materiais /produtos, ao longo do seu ciclo de vida (Whiteley, 1993; Papanek, 1995; Gardner, 1998; Gielen, 1998; Datschefski, 2001; Ashby e Johnson, 2002; Meadows et al., 2004; Cooper, 2005). Entre estas, considera-se que a durabilidade dos bens /produtos é um pré-requisito à sustentabilidade (Ashby e Johnson, 2002; Meadows et al., 2004; Cooper, 2005). O aumento do tempo de vida útil dos produtos é fundamental para reduzir os fluxos de materiais; defende-se que um melhor design, possibilidade de reparação e reutilização dos produtos, são estratégias mais eficientes do que a reciclagem, na medida em que evitam voltar a processar os materiais para produzir novos produtos (Meadows et al., 2004, p.103). Gardner apresenta um sumário das diversas questões a considerar no âmbito de um consumo sustentável de materiais:

*«A true materials makeover will require a rethinking of the structure and purpose of modern economies. Expectations of services, recycling, and efficiency will need to be completely overhauled, with low materials "throughput" (from extraction to use to waste) as a primary goal. Businesses will need to focus more on providing services, and less on producing goods. Recycling will need to be recast from an end-of-the-pipe waste solution to a front-end savings decision. Gains in materials and production efficiency will need to be monumental*

*rather than incremental, as they have been. And consumers will need to critically assess their consumption choices, drawing the line when purchasing patterns threaten to lower their quality of life. Whether such changes can lead to the ambitious materials reductions now being called for in Europe and other regions has not been proven. But the experience of several industries and economies that have rethought the role of materials from the ground up suggests that dramatic savings are possible.»* (Gardner e Sampat, 1998, pp.32-33).

## **4.2 Desempenho ambiental da madeira**

### **4.2.1 Florestas**

#### **4.2.1.1 Desflorestação**

Actualmente existe pouco mais de metade da área florestal original, e apenas 20% desta área é considerada como não perturbada (“frontier forest”) ou primária. Exceptuando a Rússia, a Europa foi um dos continentes amplamente afectados, perdendo quase toda a sua floresta original; na Suécia e Finlândia, menos de 5% da área florestal é primária, e nos restantes países, estas florestas foram perdidas na totalidade; exemplos destes países são Portugal, Espanha, França, Reino Unido, Irlanda, Bélgica, Luxemburgo, Holanda, Dinamarca, Alemanha, Suíça, Áustria, Itália, Grécia, Polónia, Estónia, Republica Checa, Hungria, Bulgária, Roménia, e antiga Jugoslávia. Cerca de metade destas florestas encontram-se na Rússia, no Canadá e no Alasca (Bryant et al., 1997).

Há cerca de 5000 anos a Europa encontrava-se coberta, quase por completo, por florestas; no entanto, à medida que a civilização e agricultura se moveram para norte, teve início o processo de desflorestação; nos anos tardios da Idade Média, muitos países tinham menos de 10% da sua área florestal (Nabuurs et al., 2003 baseados em Mather, 1990<sup>48</sup>). As áreas desflorestadas foram ainda mais degradadas por diversas actividades, nomeadamente a agricultura e a pastorícia, bem como pela erosão provocada pelo vento. Posteriormente, no final do século XIX e início do século XX, com o desenvolvimento da agricultura intensiva, muitas áreas degradadas deixaram de ser necessárias, pelo que foram florestadas (Nabuurs et al., 2003 baseados em Karjalainen et al., 1999<sup>49</sup>).

Como demonstrado por Perlin (1989), ao longo da história, as diversas civilizações, desde a Mesopotâmia à colonização da América do Norte, revelaram-se incapazes de gerir os recursos

---

<sup>48</sup> Mather, A. S. (1990) Chapter 3. Historical perspectives on forest resource use. In: *Global Forest Resources*, pp. 30-57. Timber Press, Portland. OR.

<sup>49</sup> Karjalainen, T., Spiecker, H., Laroussinie, O. (1999) *Causes and Consequences of Accelerating Tree Growth in Europe*. EFI Proceedings 27. European Forest Institute, Joensuu, Finland.

florestais de modo sustentável. Com o desenvolvimento das civilizações, o consumo de madeira cresceu substancialmente, pelo que no auge de diversas civilizações, a madeira era essencialmente um recurso escasso. Considera-se ainda, que a escassez deste recurso contribuiu para a queda de antigas civilizações (Perlin, 1989); e talvez o mesmo não tenha sucedido na Europa no início da Revolução Industrial, devido ao desenvolvimento de alternativas de combustível em substituição.

No entanto, segundo Farrell et al. (2000), já desde a Era Pré-Cristã, existe algum conhecimento em como gerir as florestas de modo sustentável; as técnicas de silvicultura eram conhecidas, mas só no final do século XVIII é que o conhecimento científico começou a ser mais amplamente aplicado; defende-se que isso só foi possível através de uma mudança de paradigma, em que as florestas terão deixado de ser vistas como um aborrecimento ou um horror pagão, e começaram a ser percebidas como o centro de produção de madeira, uma fábrica biológica (Farrell et al., 2000). A desflorestação é ainda um problema actual em diversas regiões do planeta; no entanto, já se identificam algumas medidas que visam o consumo sustentado deste recurso.

#### 4.2.1.2 Florestas – global

Actualmente, a área total de floresta do planeta é de quase 4 biliões de hectares, cerca de 30% da área total de terra. A área florestal continua a decrescer, mas a uma taxa inferior, cerca de 13 milhões de hectares por ano. As maiores perdas registaram-se em África e na América do Sul; na Europa a área florestal continua a crescer, ainda que mais lentamente. As florestas primárias<sup>50</sup> correspondem a cerca de 36% da área total, no entanto, são perdidos ou modificados cerca de 6 milhões de hectares por ano (FAO, 2006).

As florestas têm diversas funções, globalmente distribuídas da seguinte forma: a área florestal designada para a conservação da diversidade biológica tem aumentado desde 1990, e corresponde actualmente a cerca de 11,2% do total de floresta; a área total designada para a protecção do solo e água é de cerca de 9,3%; 3,7% do total está designado para a função de serviços sociais; cerca de 33,8% da área florestal não tem uma única função primária, é gerida para propósitos múltiplos; e, cerca de 34,1% da área total está designada primeiramente para a produção de produtos de madeira e outros, mas as funções de produção encontram-se em mais de metade da área florestal (FAO, 2006).

Estima-se que a quantidade de madeira removida em 2005 seja de cerca de 3,1 biliões de metros cúbicos; no entanto, este valor deverá ser superior, na medida em que existe madeira recolhida de modo informal e ilegal (em especial para utilização como combustível) que não é

---

<sup>50</sup> As florestas primárias são definidas como florestas de espécies nativas em que não se verificam indicações claras de actividades humanas, e em que os processos ecológicos não se encontram significativamente perturbados (FAO, 2006).

contabilizada. Esta taxa de remoção é semelhante à registada em 1990, e corresponde a cerca de 0,69% do total em crescimento<sup>51</sup>. Do total de madeira removida, cerca de 50% é utilizada como combustível. O valor da remoção de madeira tem decrescido em termos reais, e o valor de outros produtos florestais tem aumentado (FAO, 2006).

Existem diferenças substanciais entre os vários continentes, quanto ao âmbito de utilização da madeira removida. De acordo com dados observáveis (aproximados), o continente africano utiliza mais de 80% da madeira removida como uma fonte de combustível, sendo a restante utilizada para fins industriais; na Ásia esta proporção é de cerca 50%; na América do Sul, cerca de 40% da madeira é e utilizada como combustível; na América do Norte e Central a utilização de madeira como combustível é apenas de cerca de 12%; na Europa é cerca de 17%; na Oceânia, é inferior a 20%. De um modo geral, os países desenvolvidos utilizam menos madeira como combustível. É ainda possível observar, aproximadamente, os totais de madeira removida em 2005, em cada continente: em África cerca de 650 milhões de metros cúbicos, na Europa cerca de 675, na América do Norte e Central cerca de 825, na América do Sul cerca de 400, na Ásia cerca de 370, e na Oceânia cerca de 70 milhões de metros cúbicos (FAO, 2006).

#### 4.2.1.3 Florestas – Europa

A Europa tem uma área florestal vasta, cerca de 1004 milhões de hectares, e que representam cerca de 47% da área terrestre do continente; no entanto, a distribuição desta área pelos diversos países é muito desigual. Cerca de 80% da área total encontra-se na Rússia, onde as florestas representam mais de 50% do território. Na Finlândia e Suécia a área florestal é de cerca de 68% do território, e, na Islândia e em Malta, esta quantidade é de apenas 1%. Em Espanha a área florestal ocupa mais de 50%, na Áustria e Grécia mais de 45%, em Portugal e Itália mais de 35%, na França, Suíça e Alemanha cerca de 30%, e na Holanda e Reino Unido cerca de 10% (MCPFE e UNECE/FAO, 2003).

Cerca de 70% das florestas europeias estão classificadas como semi-naturais, e cerca de 27% consideram-se não perturbadas pelas actividades humanas, sendo estas localizadas em regiões remotas ou de difícil acesso. Os restantes 3% correspondem a plantações. Cerca de 11,7% da área florestal europeia está protegida, e tem as funções de conservação da diversidade biológica e de manutenção de processos biológicos naturais. No entanto, a saúde e vitalidade das florestas ainda se encontra num estado crítico, em consequência, nomeadamente, dos níveis de poluição atmosférica (MCPFE e UNECE/FAO, 2003).

O desenvolvimento da área florestal europeia é positivo, registando-se um crescimento anual de cerca de 0,08%, a que correspondem 2287 milhões de metros cúbicos. Este crescimento

---

<sup>51</sup> 'Growing Stock' no original, definido como o componente vivo da árvore (MCPFE e UNECE/FAO, 2003).

registou-se em todos os países, com excepção da Federação Russa. O componente vivo das árvores também aumentou, em cerca de 620 milhões de metros cúbicos por ano, e de um modo geral, a área de florestas em idade jovem é também superior. Na Europa, cerca de 85% das florestas estão disponíveis para fornecimento de madeira; o total de madeira produzida é de cerca 444 milhões de metros cúbicos, incluindo troncos, madeira para combustível, e polpa; este total europeu representa cerca de 13% do total mundial. A contribuição do sector florestal para o Produto Interno Bruto é significativa em diversos países Europeus (MCPFE e UNECE/FAO, 2003).

Binder et al. (2004) expõem uma situação na Suíça, em que a área florestal de uma região está sub utilizada. Numa avaliação efectuada ao desenvolvimento das florestas suíças, registou-se que a saúde e estabilidade da floresta, bem como a produção de madeira, se têm desenvolvido de modo negativo; a distribuição das idades das árvores está em desequilíbrio, a floresta está a envelhecer, limitando o desenvolvimento sustentável da floresta, na medida em que as funções de protecção e produção desta se encontram ameaçadas (Binder et al., 2004 baseados em Brändli, 1999<sup>52</sup>). Daqui compreendemos que a gestão florestal sustentável implica a renovação da floresta, e que as funções produtivas desta têm um papel importante. É claro que isto se aplica apenas a regiões que tenham sido desflorestadas, como em quase toda a Europa, e não a florestas milenárias e a espécies ameaçadas.

A região discutida era originalmente uma área totalmente florestada; no final do século XVIII já só havia árvores em locais de difícil acesso, e em 1850 restava apenas 16% da área florestal inicial. O processo de reflorestação teve início em 1836 por acção de uma organização não governamental, e em 1877, o governo suíço implementou a sua política florestal (Binder et al., 2004 baseados em Ettlinger, 2001<sup>53</sup>). Um dos factores que contribuíram para a recente sub utilização e consequente ameaça da sustentabilidade desta área florestal é a acentuada descida dos preços da madeira, que tem limitado a competitividade da sua exploração e produção nesta região (Binder et al., 2004).

Na Europa, em cerca de 80% da área florestal, existem planos de gestão ou linhas de orientação; estes planos e orientações contribuem para a gestão sustentável das florestas, mas não a garantem; de um modo geral não foi avaliado e não é conhecida a qualidade e nível de implementação destes planos (MCPFE e UNECE/FAO, 2003).

---

<sup>52</sup> Brändli, U.-B. (1999), Nachhaltigkeitskontrolle im Schweizer Wald. In: Brassel, P., Brändli, U.-B. (Eds.), *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995*. Haupt. Bern, Wien, pp.358-374.

<sup>53</sup> Ettlinger, P. (2001), Entwicklung und Behandlung der Wälder in Appenzell Ausserrhoden. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 152/7, pp.1-7.

## 4.2.2 Carbono

### 4.2.2.1 Emissões de carbono no sistema de materiais

A redução das emissões dos gases com efeito de estufa é um assunto chave para as políticas ambientais durante a primeira metade do século XXI (Gielen, 1998). No âmbito do Protocolo de Kyoto, já foram acordadas medidas concretas para redução das emissões de gases com efeito de estufa; na União Europeia, o compromisso de redução é de 8% no período de 2008-2012, comparativamente com o ano de referência (1990/95). E, para alcançar níveis razoáveis de concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, serão necessárias reduções mais acentuadas nos anos seguintes (Gielen e Kram, 1998).

O Protocolo de Kyoto contempla 6 categorias de gases com efeito de estufa, sendo o CO<sub>2</sub> o principal gás. Uma parte significativa destas emissões é atribuída ao ciclo de vida dos materiais<sup>54</sup>; estima-se que na Europa Ocidental o sistema de materiais represente entre 1/4 e 1/3 das emissões<sup>55</sup>; o total de emissões é de cerca de 4259Mt CO<sub>2</sub> equivalentes por ano (Gielen, 1998). No sistema de materiais da Europa Ocidental, as emissões de CO<sub>2</sub> representam cerca de 3/4 do total de emissões, e mais de 90% resultam da utilização de combustíveis fósseis; a produção de menos de 20 materiais representa mais de 75% das emissões (Gielen, 1998, baseado em Gielen, 1998<sup>56</sup>).

Consequentemente, as políticas de redução de emissões de gases com efeito de estufa podem ter um impacto significativo nos fluxos de diversos materiais da economia da Europa Ocidental. A produção de ferro, aço, cimento, cal, produtos petroquímicos, e alguns materiais inorgânicos, constituem a maior parte das emissões que são atribuídas aos materiais (Gielen, 1998). O cimento é o material cujos níveis de emissões de CO<sub>2</sub> são mais significativas (Buchanan e Levine, 1999, p.429 baseados em WRI, 1998<sup>57</sup>).

Existem diversas opções para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa no sistema de materiais, e que abrangem todo o ciclo de vida dos materiais. Algumas destas estratégias são: aumento da eficiência energética, através de novas tecnologias de produção; aumento da eficiência dos materiais; novas tecnologias de reciclagem; cascata, separação e reutilização; substituição de materiais, através do redesign de produtos, e utilização de biomassa como matéria-prima (Gielen, 1998; Gielen e Kram, 1998). Estas estratégias não são utilizadas actualmente, essencialmente, devido a problemas de viabilidade tecnológica e económica: no que

---

<sup>54</sup> Como materiais considera-se todas as substâncias que não são produzidas para fins energéticos e alimentares (Gielen, 1998).

<sup>55</sup> Refere-se 1/4 (Gielen, 1995; Gielen, 1998) e 1/3 (Gielen e Kram, 1998); supõem-se que estas diferenças tenham origem nas fronteiras do sistema.

<sup>56</sup> Gielen, D. J. (1998), Western European Materials as Sources and Sinks of CO<sub>2</sub>: a Materials Flow Analysis Perspective. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 2, Issue 2, pp.43-62.

<sup>57</sup> World Resources Institute (1998), *World Resources 1998-99*. A report by the World Resources Institute and the International Institute for Environment and Development. Oxford University Press.

respeita às questões tecnológicas, prevê-se que se possam ultrapassar algumas barreiras existentes; quanto à viabilidade económica, esta pode mudar no futuro, se as emissões de gases com efeito de estufa forem penalizadas, ou se as alternativas favoráveis ao ambiente forem subsidiadas (Gielen, 1998).

Gielen analisa o impacto que eventuais políticas de redução de emissões poderão ter no sistema de materiais da Europa Ocidental. No cálculo<sup>58</sup> do potencial de redução, foram consideradas penalizações monetárias de diferentes valores para as emissões de CO<sub>2</sub>, que são as que têm maior potencial de redução. Determinou-se, que o sistema de materiais pode contribuir em quase 50% para o total de emissões que se estima ser possível reduzir na Europa Ocidental (Gielen, 1998). Portanto, apesar de os materiais contribuírem apenas em cerca de 1/4 a 1/3 para o total de emissões, têm um potencial superior em contribuir para a redução destas; isto deve-se, essencialmente, ao facto de os custos implicados na redução de emissões no sistema de materiais, serem inferiores aos do sistema energético (Gielen, 1995, p.169).

Os resultados demonstram que o potencial de redução das emissões de CO<sub>2</sub> no sistema de materiais, é da mesma ordem de magnitude, de outras opções de redução aceites internacionalmente, como energia renovável e conservação de electricidade (Gielen, 1995, p.170 baseado em Okken e Ybema, 1994<sup>59</sup>).

Quanto ao impacto das políticas de redução de emissões no consumo de materiais individualmente, estima-se que o consumo de cimento decresça, e que o consumo de madeira e alumínio cresça acentuadamente; estas mudanças são atribuídas à substituição de materiais, nos sectores de construção e transportes (Gielen, 1998); prevê-se a substituição de aço por alumínio no sector dos transportes, e a substituição de betão por madeira no sector de construção (Gielen e Kram, 1998).

Considera-se, também, que a contribuição de biomassa como matéria-prima para a indústria petroquímica seja significativa; prevê-se, que a principal tecnologia a contribuir para o efeito, seja a aplicação do processo de pirólise da madeira<sup>60</sup> para a produção de etileno e propileno; de um modo geral, observa-se a tendência de redução do consumo de recursos não renováveis, em favor da utilização de biomassa como matéria-prima, acentuando, deste modo, a tendência no caminho da sustentabilidade (Gielen e Kram, 1998).

Reduções significativas nas emissões de gases com efeito de estufa, levarão décadas a emergir (Gielen e Kram, 1998, p.2). As tecnologias de fim de ciclo de vida já têm recebido muita atenção; considera-se que o foco deve agora incidir, nomeadamente, na substituição de matérias-primas na indústria petroquímica, numa melhoria da qualidade dos materiais, e na substituição de

---

<sup>58</sup> Foi utilizado o modelo MARKAL.

<sup>59</sup> Okken, P. A., Ybema, J. R. (1994), Three Divergent Scenarios with 80% CO<sub>2</sub> Reduction, in: *Energy Technologies to Reduce CO<sub>2</sub> Emissions in Europe: Prospects, Competition, Synergy*. IEA /OECD.

<sup>60</sup> No original, "flash pyrolysis of wood"; esta é uma tecnologia que ainda não é aplicada à escala comercial, e cujas características do processo são ainda muito incertas (Gielen e Kram, 1998, p.12).



materiais através do redesign de produtos. O armazenamento de carbono nos produtos parece ser uma estratégia menos relevante (Gielen, 1998, p.13), mas que é importante considerar, quer nos materiais orgânicos naturais, quer nos materiais orgânicos sintéticos; os materiais orgânicos são também importantes no âmbito da produção de energia. O total de carbono armazenado anualmente em biomassa (florestas, produtos e aterros) é de cerca de 300Mt CO<sub>2</sub>; estas reservas não são contabilizadas no Protocolo de Kyoto (Gielen, 1998). Por outro lado, defende-se, que as penalizações monetárias aplicadas no âmbito da redução de emissões terão impacto, essencialmente, na produção e deposição dos materiais, e não tanto no seu consumo<sup>61</sup> (Gielen, 1998).

Quanto ao nível de redução de emissões que se considera ser possível alcançar, Gielen conclui o seguinte:

*«It is possible to achieve a factor four reduction in the greenhouse gas emissions in the materials system through an improved materials efficiency of the economy without affecting the lifestyle. A factor 10 is not possible with the improvement options and demand growth paths that have been considered in this study. Product re-design, increased product life and improved materials quality are examples of promising options that are not yet fully included in the calculations. More attention for this type of improvement strategies is warranted.»* (Gielen, 1998, p.13).

#### 4.2.2.2 Carbono nas florestas

As florestas são uma importante fonte de reservas de carbono; a desflorestação e degradação florestal reduzem a quantidade de carbono armazenado, enquanto a gestão sustentável, plantação e reabilitação das florestas, aumentam o carbono sequestrado. Estima-se, que o total de floresta armazene cerca de 283 Gt (Giga toneladas) de carbono só em biomassa, e que o total de carbono armazenado em biomassa, madeira morta, resíduos e solo seja superior ao carbono existente na atmosfera em cerca de 50%. O carbono armazenado no total de biomassa florestal decresceu em cerca de 1,1 Gt de carbono por ano (FAO, 2006).

O Protocolo de Kyoto reconhece que o carbono sequestrado nos ecossistemas florestais pode contribuir para a redução da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, na medida em que uma árvore em crescimento absorve CO<sub>2</sub> da atmosfera (MCPFE e UNECE/FAO, 2003). Quando as árvores atingem a maturidade, deixam de absorver carbono; as árvores absorvem o carbono enquanto crescem (Buchanan e Levine, 1999). Portanto, quando as árvores atingem a

---

<sup>61</sup> Depreende-se que o autor se refere aos níveis de consumo; é referido que o estudo se centra em parâmetros técnico-económicos, sendo que, eventuais mudanças no estilo de vida dos consumidores, bem como no âmbito do desempenho dos produtos, não foram consideradas.

maturidade podem ser abatidas, dando lugar a outras que vão crescer, e maximizando desta forma a absorção de carbono, e a produção de uma matéria-prima renovável (Obata et al., 2005). No longo termo, uma floresta gerida de modo sustentável, é um recurso neutro quanto às emissões de carbono, porque o carbono emitido por uma árvore que é abatida é absorvido por outra que cresce (Buchanan e Levine, 1999).

O carbono armazenado depende da extensão da área florestal e do componente da árvore em crescimento. O total de carbono sequestrado em biomassa nas florestas europeias é de cerca de 46526 Tg (milhões de toneladas) de carbono. Excluindo a Rússia, cerca de 80%, os restantes países armazenam aproximadamente 9522 Tg de carbono. A quantidade de carbono armazenado nas florestas europeias tem aumentado em cerca de 1,2% por ano; este crescimento anual corresponde a cerca de 556 Tg de carbono. O carbono sequestrado varia em função do clima e consequente velocidade de crescimento das árvores; os extremos climáticos do Mediterrâneo e Escandinávia parecem sequestrar menos carbono do que as regiões centrais (MCPFE e UNECE/FAO, 2003).

A quantidade de carbono sequestrado no sector florestal europeu cresceu de modo significativo desde os anos 70, passando de 0,03 PgCyear<sup>-1</sup> nos anos 50, para 0,14 PgCyear<sup>-1</sup> nos anos 90, essencialmente, devido a um aumento de biomassa em árvores (Nabuurs et al., 2003). Como as florestas são actualmente novas (em média, aproximadamente 60 anos de idade), são cuidadas de forma intensiva para produção de madeira, e se encontram numa fase de ressalto, têm um grande potencial para sequestrar carbono, podendo desempenhar um papel importante no ciclo global do carbono (Nabuurs et al., 2003).

O sequestro de carbono nas florestas é um elemento importante durante a fase de transição para a redução de emissões; no entanto, considera-se que é uma alternativa dispendiosa se implementada (criação de áreas florestais) essencialmente para esse fim, sendo ainda uma medida que se afasta da questão central: a de reduzir as emissões de carbono provenientes dos combustíveis fósseis (Van Kooten e Eagle, 2005). O carbono pode ficar retido por longos períodos em biomassa da floresta, no solo, e posteriormente nos produtos de madeira; no entanto, o principal objectivo das políticas climáticas é, e deverá ser, a redução das emissões dos gases com efeito de estufa (MCPFE e UNECE/FAO, 2003).

#### 4.2.2.3 Carbono nos produtos de madeira

Na Europa, os produtos de madeira de longa duração, têm um papel reduzido (cerca de 3%) no sequestro de carbono, comparativamente com os principais componentes do sistema, o solo e a biomassa das árvores (Nabuurs et al., 2003). No entanto, entre outras questões, atendendo a que os produtos de madeira ainda não estão contemplados no Protocolo de Kyoto, considera-se que o sistema actual ainda não favorece devidamente, a utilização de madeira em substituição de outros materiais (Van Kooten e Eagle, 2005, p.243 e pp.245-247). Defende-se que os produtos de madeira poderão vir a ser contabilizados no protocolo de Kyoto (Pingoud e Lehtilä, 2002).

Já têm sido propostos vários métodos para contabilizar os fluxos de carbono nos produtos de madeira, sendo alguns analisados e avaliados qualitativamente em Nabburs e Sikkema (2001); a escolha de um dos métodos pode ter um grande impacto no modo como os diferentes países utilizam os produtos. Considera-se difícil quantificar os fluxos de carbono, dada a complexidade do sistema, e devido a incertezas nas estimativas da duração dos produtos de madeira (Nabburs e Sikkema, 2001, pp.388-389).

O conhecimento existente acerca do ciclo de vida dos produtos de madeira tem uma reduzida base empírica, pelo que as estimativas do potencial de sequestro de carbono nestes produtos são pouco realistas. Algumas fases do ciclo, nomeadamente a decomposição, não são bem conhecidas; consequentemente, as estimativas dos fluxos e quantidade de carbono armazenado são baseados em cálculos indirectos, produzidos em modelos de simulação. Portanto, observa-se que existe uma incerteza considerável a este respeito. Uma forma de diminuir esta incerteza é a realização de inventários directos, cuja aplicação é relevante no sector de construção, aparentemente o maior grupo de produtos de madeira em uso na Finlândia (Pingoud et al., 2001, p.92). Entende-se que também seria importante realizar este tipo de estudos em outros sectores, nomeadamente nos de papel e mobiliário; no entanto, o estudo apresentado em Pingoud et al. centra-se apenas no sector de construção (Pingoud et al., 2001, p.93).

Na Finlândia há muita informação empírica; têm sido elaboradas bases de dados desde há vários anos, pelo que é possível realizar o estudo com confiança (Pingoud et al., 2001). O carbono armazenado foi contabilizado em madeira serrada, troncos e em painéis derivados de madeira, em uso na construção (edifícios e aplicações em jardim), e em diferentes anos; os valores registados são de 8,7 Tg C em 1980, 10,7 Tg C em 1990, e 11,5 Tg C em 1995. Para 1995 foi ainda contabilizado um outro total, em que se inclui construção com e sem autorização, e outras utilizações em engenharia civil; o valor contabilizado foi de 16,5 Tg C (Pingoud et al., 2001). Este valor corresponde aproximadamente a 3,3 Mg C por pessoa, na Finlândia, e equivale a cerca de 2,4% do carbono armazenado em biomassa nas florestas finlandesas (Pingoud et al., 2001 baseados em Ministry of the Environment, 1997<sup>62</sup>).

Ao considerar o ciclo de vida dos produtos de madeira, defende-se que é também importante analisar a etapa de deposição dos produtos de madeira, contemplando as diferentes práticas de tratamento de resíduos, na medida em que estas afectam substancialmente os resultados obtidos (Pingoud et al., 2001).

Considera-se que a redução das emissões derivadas de combustíveis fósseis é possível, se os materiais como betão, tijolos, azulejos e aço, forem substituídos por madeira em novas construções (Pingoud et al., 2001, p.107). A quantidade de carbono armazenado nos produtos de madeira é muito reduzida, em comparação com o total de carbono emitido. As emissões de carbono que resultam da produção dos materiais de construção são muito mais significativas, do

---

<sup>62</sup> Ministry of the Environment (1997), *Finland's Second Report under the Framework Convention on Climate Change*, Helsinki University Printing House, 63 pp.

que as quantidades de carbono armazenadas nos materiais. O facto de a madeira utilizar menos energia no seu processamento, em comparação com outros materiais, e de consequentemente produzir um nível inferior de emissões de CO<sub>2</sub>, é mais importante do que o carbono armazenado nos produtos de madeira (Buchanan e Levine, 1999).

Pingoud e Lehtilä (2002) realizaram um estudo comparativo do consumo de energia e emissões de diversos produtos /materiais de madeira durante a fase de produção; os dados são específicos da Finlândia, mas ilustram as diferenças entre vários produtos de madeira.

As indústrias florestais podem ser divididas em duas grandes partes: o processamento mecânico de madeira, e a produção de polpa e papel. A produção dos produtos de madeira utiliza diferentes quantidades de energia, variando com o tipo de produto. De entre os produtos estudados (madeira serrada, contraplacado, aglomerado de partículas, painel de fibras, papel e polpa), o papel e polpa são os que consomem mais energia, e que produzem mais emissões. Deste modo considera-se que estes produtos têm um papel limitado no âmbito do sequestro de carbono; estima-se que por 1Mg C absorvido nestes produtos, sejam emitidos entre 0,3-0,6Mg C na fase de produção. Outros produtos de madeira, como madeira serrada e painéis (contraplacado, aglomerado de partículas, painel de fibras), têm um consumo energético substancialmente inferior; de entre estes, a madeira serrada é a que produz um nível mais baixo de emissões, sendo que, a 1Mg C absorvido, corresponde uma emissão de 0,07Mg C na fase de produção. Os painéis considerados neste estudo apresentam emissões superiores à da madeira serrada, mas ainda assim, bem inferiores às de papel e cartão (Pingoud e Lehtilä, 2002). Portanto, entre estes produtos, como a madeira serrada é o que consome menos energia e produz menos emissões, é o produto de madeira com maior potencial no âmbito do sequestro de carbono.

Os produtos de madeira, apesar de também produzirem emissões, são uma alternativa favorável quando comparados com outros produtos /materiais, que de um modo geral, utilizam mais energia e combustíveis fósseis. O consumo de energia primária por emissões de carbono na produção de madeira serrada é de cerca de 2MWh / Mg C, enquanto que na produção de papel virgem este valor se situa entre 17-19MWh / Mg C. Por outro lado, os resíduos de madeira que derivam do abate e produção destes materiais podem ser utilizados como bioenergia, contribuindo para reduções adicionais na utilização dos combustíveis fósseis. Acresce ainda o facto de que, no fim do seu ciclo de vida, os próprios produtos de madeira podem também ser utilizados para a produção de energia (Pingoud e Lehtilä, 2002).

Na Finlândia, uma proporção significativa dos resíduos de madeira provenientes das indústrias de serração e contraplacado, é vendida como matéria-prima às indústrias de outros painéis, polpa e papel, ou como biocombustível. Neste estudo, e no caso específico de produção de materiais /produtos de madeira na Finlândia em 1995, podemos observar que a quantidade de biomassa utilizada nestas indústrias é substancial, comparativamente com a utilização de outros combustíveis: 50% em madeira serrada, 60% em painéis de aglomerado de partículas, 82% em contraplacado, e 86% em painéis de fibras (Pingoud e Lehtilä, 2002, p.69 baseados em Finnish

Environment Institute, 1999<sup>63</sup>). O mesmo acontece na produção de polpa e papel: todos os processos de polpa à base de madeira, produzem sub produtos que são utilizados como biocombustíveis, sendo um exemplo o licor negro, que deriva do processo químico de produção de polpa (Pingoud e Lehtilä, 2002).

A energia ou emissões fósseis de carbono por Mg C nos produtos finais (materiais) é apenas um critério para avaliar a intensidade energética ou de emissões; refere-se que uma outra forma pode ser a de considerar a energia ou emissões pelo valor monetário do produto final, sendo que deste modo, o impacto ambiental do produto é representado pelo seu valor monetário, e não pela quantidade de material utilizada (Pingoud e Lehtilä, 2002).

#### **4.2.3 Substituição – estudos comparativos**

##### **4.2.3.1 Estudos comparativos**

Richter (1995) elaborou uma síntese<sup>64</sup> dos resultados de estudos de Análise do Ciclo de Vida (“Life Cycle Analysis”), em que se comparam materiais /produtos de madeira e de outros materiais. Até 1995 haviam sido realizados poucos estudos de Análise do Ciclo de Vida em produtos de madeira, se considerada a abordagem compreensiva, do início ao fim do ciclo de vida (“from cradle to grave”); e, como uma técnica nova, em processo de desenvolvimento, os estudos nem sempre se podem comparar directamente (Richter, 1995).

A principal vantagem da madeira, comparativamente com os outros materiais, é o facto de esta ser um recurso renovável; no entanto, este aspecto só deve ser considerado, quando a matéria-prima provém de florestas devidamente geridas, em que o abate das árvores não constitui uma ameaça para o fornecimento no futuro. A energia incorporada na madeira como matéria-prima ou material de base é substancialmente inferior à de outros materiais, e estes produtos têm ainda o benefício adicional de utilizar os desperdícios próprios do seu processamento como combustível na sua produção. Outro benefício dos produtos de madeira é o facto de contribuírem pouco para o aquecimento global, sendo esta questão ainda acentuada, quando se considera o carbono armazenado nos produtos de longa duração. Uma outra vantagem dos produtos de madeira face aos outros materiais é o facto do seu volume de desperdício ser relativamente baixo; a maior parte dos desperdícios e produtos à base de madeira podem ser queimados no fim da sua vida útil (Richter, 1995).

Porque a madeira, como um recurso biológico, apresenta uma elevada variabilidade nas suas propriedades materiais inerentes, requer mais manutenção e tratamentos especiais para garantir

---

<sup>63</sup> Base de dados não publicada, em finlandês.

<sup>64</sup> O autor considera que o estudo não é um “State of the Art” compreensivo.

um longo tempo útil de serviço, em especial se aplicada no exterior. Estes tratamentos afectam a possibilidade de reutilização do material, o que é possível para a maioria dos plásticos e metais aplicados em construção; o potencial de reciclagem dos outros materiais é expresso de modo optimista. Defende-se que os utilizadores finais se devem consciencializar de que podem influenciar significativamente o perfil ambiental dos produtos de madeira, através de actividades de manutenção periódicas mas benignas (Richter, 1995).

Um aspecto importante a considerar, é que quase todos os modernos produtos de madeira são compósitos, pelo que combinam diversos materiais, cada um deles com um impacto próprio que tem de ser conhecido para uma avaliação total do produto em questão. Nos diversos estudos realizados até 1995, a madeira como matéria-prima, tem apresentado vantagens distintas sobre os produtos /materiais alternativos. No entanto, o perfil ecológico dos produtos de madeira depende fortemente do seu grau de transformação, e das combinações com outros materiais e auxiliares. Na maioria dos casos, os compósitos de madeira não são reutilizáveis nem recicláveis, podendo ainda ser tóxicos (Richter, 1995).

As principais vantagens dos produtos derivados de madeira são a sua origem num recurso natural renovável, e os benefícios relacionados com o CO<sub>2</sub>. Estes são considerados valores básicos do material, e que lhe são atribuídos independentemente do seu uso em produtos específicos (Richter, 1995).

Buchanan e Levine (1999) compararam diversas habitações, com materiais diferentes: os edifícios de betão armado e os de aço estrutural apresentam consumos energéticos similares, enquanto os edifícios com uma grande quantidade de madeira têm bem menos energia incorporada, do que resulta um nível de emissões inferior (Buchanan e Levine, 1999, p.433).

No caso particular da Nova Zelândia, e do estudo realizado por Buchanan e Levine (1999), um aumento de 17% na utilização de madeira como material de construção, resultaria num decréscimo de cerca de 20% do consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis (que até é baixo neste país, atendendo a que utilizam muita energia renovável), e numa redução de 20% das emissões resultantes de todos os materiais de construção; em ambos os casos (energia e emissões), estas reduções representam cerca de 1,5% dos totais nacionais (Buchanan e Levine, 1999).

Considerando as emissões globais de carbono, conclui-se que a madeira é um material de construção bem mais favorável do que outros que consomem energia intensamente, tais como tijolos, alumínio, aço e betão; no entanto, defende-se que um aumento do consumo de madeira só é justificado, se acompanhado por um aumento correspondente da área florestal disponível, de forma a assegurar uma gestão sustentável do recurso (Buchanan e Levine, 1999).

Börjesson e Gustavsson (2000) compararam estruturas de madeira e betão em edifícios de vários andares, quanto à energia utilizada, e às emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). A produção de estruturas de betão requer cerca de 60 a 80% mais energia do que as de

madeira; no entanto, o balanço final das emissões de gases com efeitos estufa depende fortemente do modo como a madeira é tratada depois da demolição dos edifícios, essencialmente devido à formação de CH<sub>4</sub> quando depositada em aterros. O CH<sub>4</sub> é um gás com efeito de estufa muito concentrado, e que provoca um maior impacto nas alterações climáticas do que o CO<sub>2</sub> (Börjesson e Gustavsson, 2000).

Conclui-se ainda, que a substituição dos combustíveis fósseis por biomassa, directa ou indirectamente através da utilização de produtos de madeira em substituição de outros materiais consumidores de mais energia, é um método eficiente de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, comparativamente com o armazenamento de carbono nas florestas (Börjesson e Gustavsson, 2000).

Goverse et al. (2001) estudaram as oportunidades em aumentar a utilização de madeira no sector residencial holandês; para o efeito, consideraram uma habitação típica, e outras alternativas com um progressivo aumento da quantidade de madeira empregue. Determinou-se ser tecnicamente possível reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 50%, para a alternativa em que é utilizada mais madeira; no entanto, a possibilidade de implementação desta alternativa depende de questões estruturais, pelo que só poderá ser utilizada no longo prazo. Numa perspectiva de curto prazo, o potencial de redução das emissões é de cerca de 12%, através da substituição de outros materiais por madeira em estacas, paredes e caixilhos de janelas (Goverse et al., 2001).

Scharai-Rad e Welling (2002) compararam o desempenho ambiental de diversos materiais em habitações familiares, outros edifícios de maiores dimensões, caixilhos de janelas, e pavimentos. O estudo baseia-se em metodologia de LCA ("Life Cycle Assessment"), e foram considerados vários métodos de avaliação /categorias de impacto. Conclui-se que a utilização de madeira em substituição de outros materiais é uma alternativa favorável: a madeira apresentou um melhor desempenho ambiental em quase todas as categorias de impacto; quando considerado o ciclo de vida dos produtos, o desempenho ambiental dos produtos de madeira é superior ao dos outros materiais em todos os componentes analisados; acresce ainda, que a possibilidade de utilização dos produtos de madeira no fim da sua vida útil como combustível, em substituição de recursos fósseis, permite ampliar os benefícios de aplicação da madeira em substituição de outros materiais (Scharai-Rad e Welling, 2002).

Petersen e Solberg (2005) elaboraram um 'state of the art' de análises quantitativas realizadas na Noruega e Suécia, acerca dos impactos ambientais da utilização de madeira e materiais alternativos. Todos os estudos se baseiam em metodologia de LCA. No entanto, são consideradas diferentes fronteiras no sistema, e são utilizados vários métodos de avaliação; os estudos contemplam diferentes componentes de construção, bem como diversos materiais alternativos; e, no total foram revistos 15 estudos, entre os quais se inclui o de Börjesson e Gustavsson (2000). Consequentemente, considera-se que os estudos não são directamente comparáveis (Petersen e Solberg, 2005).

Em todos os estudos, a madeira apresentou um impacto inferior ao dos outros materiais relativamente às emissões de gases com efeito de estufa, se não for depositada em aterros depois

da sua utilização, pelo que se defende que o tratamento de resíduos no fim da vida dos produtos de madeira é um aspecto importante. O total de emissões evitadas quando a madeira substitui o aço é de entre 36-530kg de CO<sub>2</sub> equivalentes por metro cúbico de madeira, com uma taxa de desconto de 4%, dependendo do modo como os materiais são tratados no fim do ciclo de vida, e em como a fixação de carbono nas florestas é incluída; se a madeira for aplicada em substituição de betão, são evitados entre 93-1062kg de CO<sub>2</sub> equivalentes por metro cúbico de madeira, desde que a madeira não seja depositada em aterros. Para além de um menor nível de emissões de CO<sub>2</sub>, a madeira apresenta também outras vantagens, no que respeita às emissões de outros gases que contribuem para o aquecimento global, quanto ao consumo energético, desperdício gerado, e utilização de recursos não renováveis. No entanto, alguns tratamentos utilizados nos produtos de madeira são tóxicos, e como tal, têm um impacto negativo na saúde humana e dos ecossistemas (Petersen e Solberg, 2005).

#### 4.2.3.2 Discussão

A comunidade científica demonstrou que não é suficiente analisar apenas a fase de produção dos materiais /produtos para determinar o seu impacto ambiental; é já aceite, de um modo geral, que uma avaliação ecológica dos produtos tem de contemplar todas as etapas do ciclo de vida, e em particular quando se pretende comparar diferentes produtos. No entanto, a maior parte da informação publicada até 1995, contemplou apenas algumas fases do ciclo (Richter, 1995); esta questão verifica-se ainda hoje, e mesmo quando se considera o ciclo de vida completo dos produtos, existem diferenças entre os estudos; portanto, como referido por Richter (1995), também Petersen e Solberg (2005) consideram que os estudos disponíveis não são directamente comparáveis.

A metodologia de LCA envolve quatro etapas: definição do objectivo e âmbito da avaliação; análise do inventário do ciclo de vida; avaliação do impacto; e interpretação (Daniel et al., 2004; e Scharai-Rad e Welling, 2002, baseados em ISO 14040). Como discutido em Daniel et al. (2004), a análise do ciclo de vida é um processo complexo, e não existe concordância acerca da fase de avaliação do impacto ambiental, essencialmente devido à multiplicidade de critérios a considerar, e ao peso relativo a atribuir a cada uma das categorias de impacto; consequentemente, existem diversos métodos de avaliação, que se distinguem pelas categorias de impacto contempladas e pela importância atribuída às mesmas. E, por sua vez, a fase de interpretação dos resultados é subjectiva (Daniel et al., 2004).

Considera-se ter sido apresentada evidência de que a madeira é uma alternativa sustentável: dos materiais discutidos (madeira, metais, cerâmicos e plásticos), a madeira é o único material renovável. Outras vantagens destacam o desempenho ambiental da madeira face a outros materiais: a madeira é uma matéria-prima neutra quanto às emissões de dióxido de carbono; e o processamento destes produtos /materiais utiliza pouca energia. De entre as diversas questões



relacionadas com a utilização de materiais, apurou-se, que a disponibilidade de recursos, as emissões de gases com efeito de estufa, e o consumo energético dos materiais, são questões pertinentes no âmbito da sustentabilidade ambiental, e que revelam a supremacia da madeira em comparação com outros materiais.

Com base na literatura apresentada no âmbito da avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida dos materiais, poder-se-á considerar, que a madeira é a melhor alternativa ambiental quando contempladas certas condições; atendendo a que, actualmente, ainda não existe consenso relativamente à determinação do impacto ambiental, parece sensato concluir, que a madeira tem o potencial para ser a melhor alternativa ambiental, mas que incluindo práticas actuais comuns (eventual deposição em aterros, e utilização de produtos químicos), o seu desempenho é condicionado.

No entanto, quando ponderadas as diversas questões discutidas, e os princípios de utilização sustentável de materiais e energia propostos por Herman Daly, clarifica-se a importância em aplicar a madeira como matéria-prima em substituição de outros materiais. A metodologia de LCA é considerada a principal ferramenta para avaliar o impacto ambiental; no entanto, defende-se que o seu âmbito é restrito, em particular quando se pretende explorar alternativas em substituição, e que para o efeito, é importante a utilização de modelos dinâmicos, em que se contemplam questões como custos, disponibilidade de recursos, e viabilidade tecnológica (Gielen, 1998; Petersen e Solberg, 2005). Neste contexto é de salientar a importância da contribuição de Gielen. Essencialmente, poder-se-á compreender, que sem uma perspectiva dinâmica e interactiva, compreensiva quanto aos factores intervenientes, e sem referências temporais, a pertinência dos resultados é limitada e questionável.

De seguida apresentam-se dois exemplos da literatura, com base em metodologia de LCA, e em que se utiliza o método Eco-Indicator' 99 para avaliação do impacto ambiental; nestes exemplos a utilização de madeira é preterida à de outros materiais. Os resultados destes dois estudos divergem claramente da literatura apresentada até então; considera-se, que estes estudos não estão directamente relacionados com o cerne das questões discutidas, que são, essencialmente, a aplicação de resultados, e não a criação ou discussão destes. Como tal, estes artigos não são considerados nesta análise do papel da madeira no âmbito da prossecução de um desenvolvimento sustentável; esclareça-se, não porque os resultados divergem da restante literatura, mas porque a sua natureza é secundária. No entanto, é importante discutir as implicações destes resultados.

#### 4.2.3.3 Eco-Indicator' 99

Bovea e Vidal (2004) realizaram um estudo do impacto ambiental de diferentes painéis derivados de madeira e revestimentos, para aplicação em mobiliário. O estudo baseou-se em metodologia de LCA, e na aplicação do método Eco-Indicator' 99. Foram comparados diferentes

painéis e revestimentos: o painel de aglomerado de partículas apresentou um impacto substancialmente inferior ao do painel de fibras, em cerca de 1/3; quanto ao revestimento dos painéis, a utilização de folha de madeira natural apresentou um impacto superior ao da utilização de laminados de alta e baixa densidade, sendo esta proporção, respectivamente, do dobro e do triplo. Os laminados são constituídos por papel e resina termoendurecível (Bovea e Vidal, 2004).

Os materiais plásticos são geralmente divididos em duas classes: termoplásticos e termoendurecíveis. Em Smith (1998) encontram-se as seguintes definições destes materiais:

*«Termoplástico: material plástico que requer calor para adquirir forma e, após o arrefecimento, retém essa forma. Os termoplásticos são formados por cadeias poliméricas, com ligações secundárias entre cadeias do tipo dipolo permanente. Os termoplásticos podem ser repetidamente amaciados por aquecimento e endurecidos por arrefecimento. Termoplásticos típicos são os polietilenos, os vinilos, os acrílicos, os celulósicos e os nylons.*

*Termoendurecível: material plástico que sofre uma reacção química por acção do calor, catálise, etc., obtendo-se uma estrutura macromolecular reticulada. Os plásticos termoendurecíveis não podem ser refundidos e reprocessados, porque, ao serem aquecidos, degradam-se e decompõem-se. Plásticos termoendurecíveis típicos são os fenólicos, os poliésteres insaturados e os epoxídicos.»* (Smith, 1998, p.423)

Podemos então considerar que a madeira, um termoplástico, e um material termoendurecível, representam três níveis distintos de sustentabilidade dos materiais: enquanto a madeira é um recurso renovável, os materiais plásticos têm origem em recursos fósseis; os termoplásticos podem ser reciclados, e deste modo completar um ciclo industrial; o mesmo não acontece com os materiais termoendurecíveis, que não podem ser reutilizados, e que deste modo não completam qualquer ciclo.

A aplicação de folha de madeira requer operações suplementares, e por sua vez é frequentemente tratada com resinas termoendurecíveis (Bovea e Vidal, 2004); no entanto, à luz dos princípios elaborados anteriormente acerca da utilização sustentável de materiais, e face aos diversos estudos apresentados, em que se demonstra que a madeira é uma melhor alternativa ambiental, qual a coerência destes resultados?

Em Sun et al. (2003) podemos observar classificações típicas para diversos materiais, e em que é utilizado o Eco-Indicator' 99. Depois de avaliados diversos materiais com esta ferramenta quantitativa, e com base na metodologia de LCA, os materiais foram agrupados de acordo com as suas propriedades e com os níveis de impacto apurados. Foram contempladas várias classes de materiais: cerâmicos, metálicos, papel, plásticos, e madeira; no total, foram estabelecidos 16 grupos distintos, apresentados na tabela seguinte:

Categorias dos Materiais	Número dos Grupos	Grupos de Materiais	Número de Casos	Média/D <sub>M</sub> (Pt/kg)	STDEV	CV
Vidros e Cerâmicos	1	Cerâmicos Tradicionais	7	0.0279	0.0078	27.83%
	2	Vidro	6	0.0568	0.0060	10.49%
Metais Ferrosos	3	F. s/ Ni	57	0.0772	0.0161	20.85%
	4	F. c/ Baixo Ni (Ni<5%)	11	0.1481	0.0419	28.32%
	5	F. c/ Elevado Ni (Ni>5%)	13	0.4531	0.0923	20.37%
Metais Não Ferrosos	6	Al, Mg, Zn, Mn & ligas	56	0.5647	0.1180	20.90%
	7	Cu, Ni, V, Ti, Mo & ligas	42	2.5436	0.7413	29.14%
	8	Co & Sn & Pt & Pd & Rd	5			
Papel	9	Papel	10	0.0677	0.0173	25.62%
	10	Cartão	24	0.0346	0.0087	25.21%
Polímeros	11	Resina Epoxídica	3	0.7180	0.1342	18.70%
	12	Borracha, Termoplásticos e Termoendurecíveis	82	0.3753	0.0974	25.94%
Madeiras	13	Mad. Impacto Baixo	29	0.5660	0.1607	28.39%
	14	Mad. Impacto Médio 1	4	1.1985	0.2132	17.79%
	15	Mad. Impacto Médio 2	25	5.5368	0.9995	18.05%
	16	Mad. Impacto Elevado	26	9.7973	2.2451	22.91%

Figura 17 – Grupos de materiais e indicadores do impacto ambiental dos materiais, Sun et al., 2003, p.54.

Como se pode observar, à excepção da resina epoxídica, todos os restantes materiais plásticos, termoplásticos e termoendurecíveis, estão agrupados numa mesma categoria, grupo 12; quanto à madeira, distinguem-se 4 categorias (compreensíveis pelos distintos níveis de impacto das diferentes espécies); no entanto, mesmo o grupo 13, de madeira com menor impacto, apresenta um impacto substancialmente superior ao dos plásticos. Note-se ainda, que o impacto desta categoria de madeira é idêntico ao do grupo 6, em que se incluem materiais metálicos como o alumínio; atente-se também ao reduzido impacto do papel. O artigo proposto por Sun et al. comunica uma ferramenta simplificada para auxiliar a selecção de materiais durante a fase de

desenvolvimento de produtos. Quais as consequências da sua aplicação para a selecção sustentável de materiais no âmbito do design?

Estes dois artigos estão mais directamente relacionados com a disciplina de design, pelo que se poderá considerar o acesso a estas referências como provável por profissionais da área. Está fora do âmbito deste trabalho compreender a obtenção destes resultados; como discutido inicialmente, a metodologia de LCA é um processo complexo. No entanto, atendendo a que estes resultados divergem significativamente da informação apresentada anteriormente, em que se fundamenta a supremacia ambiental da madeira, sugere-se, no âmbito do design, que os resultados obtidos em LCA sejam comparados com alguns princípios de utilização sustentável de materiais, nomeadamente os propostos por Herman Daly, expostos anteriormente em Materiais e sustentabilidade.

#### **4.2.4 Utilização sustentável da madeira**

##### **4.2.4.1 Utilização apropriada e cascata de recursos**

No que respeita ao uso sustentável da madeira, considera-se fundamental utilizar a madeira primária tão eficientemente quanto possível, e quando a sua aplicação seja *a mais apropriada* (“appropriate fit”), de modo a que a madeira seja empregue, primeiramente, nas aplicações mais exigentes, e que desta forma se utilize ao máximo as suas propriedades (Lafleur e Fraanje, 1997, baseados em Sirkin e Houten, 1993<sup>65</sup> e Sirkin e Houten, 1994<sup>66</sup>). Exemplificando, considera-se que uma aplicação é *a mais apropriada*, quando um tronco seja primeiramente utilizado em funções de suporte e inteiro, explorando deste modo, propriedades da madeira maciça como a sua resistência; e não se considera *apropriado* utilizar madeira primária para o fabrico de papel (Lafleur e Fraanje, 1997).

Este conceito de aplicação *apropriada* é o princípio base da *utilização de recursos em cascata* (“resource-cascading”), definida como a exploração sequencial do potencial máximo de um recurso durante o seu uso (Lafleur e Fraanje, 1997, baseados em Sirkin e Houten, 1993; Sirkin e Houten, 1994 e Fraanje, 1996<sup>67</sup>). Exemplificando, primeiro o tronco seria utilizado como uma peça estrutural (barrote), depois em tábuas de madeira, painéis de lamelado ou OSB, depois em painéis de aglomerado de partículas, e painéis de fibras, etc.

---

<sup>65</sup> Sirkin, T., Houten, M. ten (1993), Resource cascading and the cascade chain. IVAM No. 71, University of Amsterdam, the Netherlands.

<sup>66</sup> Sirkin, T., Houten, M. ten (1994), The cascade chain. In: Resources, Conservation and Recycling, No. 11, pp. 215-277.

<sup>67</sup> Fraanje, P.J. (1996), Cascading of pine wood. Res. Cons. Recycl., No 19 (1997), pp. 21-28.

Um outro exemplo de uso *mais apropriado* compreende, em alguns casos, a utilização de madeira em substituição de materiais não renováveis, nomeadamente em edifícios e interiores (Lafleur e Fraanje, 1997, baseados em Fraanje, 1996<sup>68</sup>; Meijer, 1993<sup>69</sup> e Fraanje e Anink, 1992<sup>70</sup>).

No estudo realizado, Lafleur e Fraanje (1997) identificam diversas medidas que contribuem para uma utilização mais sustentável da madeira na Holanda. No âmbito de uma utilização *mais apropriada*, considera-se importante uma mais ampla utilização de madeira no sector da construção, ao nível estrutural e de componentes, e consequentemente, utilizando a madeira em substituição de outros materiais. No entanto, os autores consideram também adequado substituir a madeira por outros materiais naturais, essencialmente fibras (cânhamo, linho, palha), para a produção de painéis derivados de madeira, bem como para papel e cartão (Lafleur e Fraanje, 1997).

Quanto à utilização *em cascata*, considera-se importante a utilização de madeira secundária para a produção de painéis derivados de madeira, bem como a reutilização de desperdícios, em particular da indústria de construção. No que respeita à eficiência no processamento da madeira, considera-se pertinente a optimização dos caixilhos de janelas, e o desenvolvimento de mais componentes de madeira pré-fabricados (Lafleur e Fraanje, 1997).

#### 4.2.4.2 Certificação

Uma outra condição para a utilização sustentável de madeira é a de que esta seja certificada; a certificação assegura que a matéria-prima provém de florestas geridas de modo sustentável; os programas de certificação já existem há mais de dez anos, e a área florestal certificada no planeta é superior a 171 milhões de hectares (Poku-Marboah et al., 2005).

### 4.3 Percepção ambiental da madeira

#### 4.3.1 Florestas

Na Europa ocidental, de um modo geral, as florestas são percebidas como o ambiente natural por excelência, através de uma imagem idílica, mítica, e as questões ambientais estão sempre presentes (EC/DG Enterprise, 2002, p.17-18). Segundo Rameststeiner e Kraxner (2003), as florestas são percebidas como um *símbolo da natureza* (p.13), no entanto, ainda hoje, muitos

---

<sup>68</sup> Fraanje, P.J. (1996), Op VINEX-lokaties minimum aandeel duurzame houtskeletbouw (Dutch article on wooden frame buildings). In: Gezond Bouwen and Wonen 1996-5, pp. 36-37.

<sup>69</sup> Meijer, E. (1993), Hemp variations as pulp source researched in The Netherlands. In: Pulp and Paper, July, pp. 41-43.

<sup>70</sup> Fraanje, P.J. and Anink, D.A.F. (1992), Renewable resources for the building industry (published in Dutch; Vernieuwbare grondstoffen voor de bouw). Woon|Energie, Gouda, The Netherlands.

Europeus têm impressões negativas acerca da floresta; cerca de metade dos europeus exprimem as suas primeiras impressões através de *ameaça, escuridão, perigo e degradação florestal*. A outra metade tem essencialmente associações positivas, nomeadamente, *ar fresco, verde, silêncio, quietude, alegria, árvores*, funções recreativas, e menos frequentemente *madeira* (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.11).

Existe a noção generalizada de que a área florestal está a decrescer (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.23; EC/DG Enterprise, 2002, p.18); quando questionados acerca do crescimento ou decrescimento da área florestal dos seus países, a grande maioria dos inquiridos exprimem a percepção de que esta área está a decrescer, o que não corresponde à realidade nas florestas Europeias (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.23). A maioria dos europeus também não se encontram satisfeitos com a biodiversidade das suas florestas, e consideram que a saúde das mesmas continua a piorar, essencialmente devido à poluição, mas também em consequência de actividades florestais, e da agricultura e turismo, entre outras (Rameststeiner e Kraxner, 2003, pp.26-28).

Defende-se que a percepção do público acerca do papel das florestas está a mudar ao longo do tempo; as funções económicas de produção de madeira estão a perder importância, enquanto as funções ecológicas e ambientais emergem, sendo já consideradas muito importantes. A maioria dos europeus menciona explicitamente as 3 funções base das florestas, ambientais, sociais e económicas, e concorda com a utilização multi-funcional deste recurso (Rameststeiner e Kraxner, 2003, pp.13-14). A grande maioria dos inquiridos associa o termo 'gestão sustentável das florestas' a algo de positivo, acções amigas do ambiente e dimensões sociais, e não somente a remoção equilibrada de madeira; de um modo geral, o público europeu aprecia e apoia os princípios da gestão sustentável, e as políticas ambientais que têm vindo a ser estabelecidas (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.17 e p.43). No entanto, uma grande parte das pessoas ainda não acredita que os princípios de sustentabilidade sejam efectivamente aplicados (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.18). Quanto à função das florestas no sequestro do carbono, de um modo geral, o público reconhece a sua importância (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.25).

A percepção e conhecimento de diversas questões variam muito na Europa, dadas as funções e utilizações específicas dos diferentes países /regiões, bem como pelas diferentes medidas políticas e informação disponível. No Norte da Europa e nas regiões Alpinas, a maioria dos inquiridos considera que deve haver intervenção humana nas florestas: no Norte da Europa, dada a importância do sector florestal, a população está mais familiarizada com as diversas práticas do sector; por outro lado, as funções de protecção das florestas são reconhecidas de modo mais acentuado nas regiões centrais e em algumas do sul da Europa, em particular regiões montanhosas, sujeitas a avalanches e deslizamentos de terra (Rameststeiner e Kraxner, 2003).

#### 4.3.2 Produtos de madeira

A madeira é percebida como um material natural, biodegradável e ecológico (EC/DG Enterprise, 2002, p.28). No entanto, no que respeita à utilização de madeira, as opiniões são controversas: a maioria dos inquiridos rejeitou claramente a frase “*a utilização de madeira ajuda a natureza*” (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.13); a remoção de árvores da floresta para a produção de produtos de madeira é aceite, na condição de a área removida ser florestada (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.32); de um modo geral, o público rejeita a ideia de utilizar mais madeira (aumento da produção), mesmo que sob uma gestão sustentada (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.33); e, apesar de a maioria dos europeus reconhecer que o abate de árvores é uma acção necessária para a protecção ambiental, pouco menos pessoas, declararam que consideram o abate de árvores um crime contra a natureza (Rameststeiner e Kraxner, 2003, p.34).

Na Europa Central, as atitudes gerais acerca da madeira são muito positivas; uma grande maioria do público expressa um elevado apreço pela madeira, e identifica-a como “o” material /produto amigo do ambiente, dada a sua naturalidade. Nas percepções espontâneas dominam termos como *floresta*, *árvores*, *mobiliário bonito /lindo*, material prático com boas características técnicas, e uso activo da madeira devido a vários aspectos da sua qualidade. Só uma pequena percentagem dos inquiridos associou a madeira com a sua origem na floresta, com a produção de madeira, abate de árvores, e com a perda de florestas. As pessoas associam as florestas como tal e o mobiliário em casa como muito positivos; aparentemente, esquecem ou eliminam as sequências intermédias, nomeadamente, o abate das árvores e o processamento da madeira, operações que têm frequentemente associações negativas (Rameststeiner e Kraxner, 2003, pp.30-31).

Apesar de a madeira ser claramente preferida a outros materiais, como tijolos, betão, ou aço, são apresentados alguns motivos para não escolher madeira na compra de materiais de construção: o elevado preço, e a necessidade de a preservar em vez de sobre utilizar as florestas. De um modo geral, a madeira é considerada apropriada, esteticamente apelativa, e uma matéria-prima e material de construção com excelentes propriedades de isolamento. E talvez surpreendentemente, aspectos como a sua fraca resistência ao fogo não são vistos /referidos como um impedimento à sua utilização. A produção de mobiliário é percebida pela população da Europa Central como a mais visível aplicação da madeira. As indústrias de papel, madeira para construção /madeira serrada e mobiliário, são percebidas como as que utilizam mais madeira (Rameststeiner e Kraxner, 2003, pp.30-31).

De um modo geral, as indústrias de processamento da madeira e de mobiliário são percebidas como as que têm um menor impacto ambiental, e foram consideradas como não muito poluentes e perigosas, comparativamente com outras indústrias; é criticada a desflorestação, ainda que moderadamente, bem como a utilização de produtos químicos (colas, vernizes, tintas, etc.); a origem natural do material, e a sua imagem ecológica, parecem influir positivamente no julgamento destas indústrias, que de certo modo se considera quase neutro (EC/DG Enterprise, 2002, pp.28-29 e 34-35).

Järvinen et al. (2001) investigaram a competência e imagem da madeira no mercado alemão de materiais de construção; o estudo baseia-se nas opiniões expressas por empresas que comercializam diversos materiais de construção, entre os quais a madeira<sup>71</sup>. De entre os materiais contemplados (madeira, aço, betão e plástico), a madeira foi considerada como o material com melhor desempenho ambiental pela maioria dos inquiridos, e de forma destacada, comparativamente com o desempenho dos outros materiais (Järvinen et al., 2001, p.32). Foram ainda avaliados outros parâmetros, como a aceitação social dos materiais, a eventual existência de etiquetas ecológicas, e a segurança ou não perigosidade dos materiais; em todas as categorias, a madeira foi classificada como a melhor alternativa ambiental (Järvinen et al., 2001, p.37).

Concluindo, poder-se-á considerar, que de um modo geral, a madeira e respectivas indústrias têm uma imagem ambiental positiva, em comparação com outros materiais e respectivas indústrias; neste contexto, a madeira é percebida como um material ecológico, amigo do ambiente. No entanto, observam-se pontos críticos: a utilização de produtos químicos; e, essencialmente, a desflorestação e abate das árvores. No âmbito da substituição, é de salientar o desconhecimento acerca do crescimento da área florestal, e a rejeição das ideias de aumento de produção de madeira, e de que a utilização deste material é benéfico para o ambiente.

#### **4.4 Conclusão**

Os materiais contribuem substancialmente para diversos problemas ambientais, entre os quais o aquecimento global. Identificou-se que a eficiência e utilização de recursos renováveis são questões centrais no âmbito do consumo sustentável de materiais. Conclui-se que a madeira é uma alternativa sustentável, na medida em que é um material renovável, neutro quanto às emissões de carbono, e que requer baixos níveis de consumo energético no seu processamento. No entanto, existem ainda algumas reservas em considerá-la a melhor alternativa ambiental. Apurou-se que a madeira é percebida como um material ecológico, e como a melhor alternativa ambiental; no entanto, o público é muito sensível a assuntos como abate de árvores e desflorestação.

Em conclusão, considera-se que actualmente as questões ambientais são um factor pertinente a abordar no âmbito da substituição entre materiais, e que uma mais ampla utilização da madeira, em substituição de outros materiais, contribui para um desenvolvimento sustentado.

---

<sup>71</sup> Os autores advertem que os resultados não devem ser interpretados como uma manifestação de atitudes favoráveis à madeira: por um lado, na maioria das empresas, só foi entrevistada uma pessoa; por outro, neste estudo, não foi recolhida informação dos consumidores (Järvinen et al., 2001, p.47).



## 5 Materiais e tecnologias da madeira

Atendendo a que a quantidade de materiais derivados da madeira é já substancial, esta exposição não pretende ser compreensiva, nem detalhada; a sua finalidade é, essencialmente, a de demonstrar a multiplicidade de soluções técnicas que foram desenvolvidas no âmbito da utilização deste recurso. Colocam-se então as seguintes questões:

*Como se caracteriza a madeira actualmente? Qual o seu potencial técnico de aplicação?  
Que inovações se identificam, e que factores as motivaram?*

### 5.1 Propriedades da madeira

#### 5.1.1 Caracterização geral

A madeira distingue-se de qualquer outro material, na medida em que é uma construção efectivamente complicada:

*«...wood consists of especially hardened crystalline cells filled with an amorphous substance. The wall of the wood cell consists of cellulose and lignin. Cellulose constitutes 70 percent of the dry cell wall. Lignin fills the spaces within the cellulose network. Cellulose consists of long chains of glucose molecules polymerized into carbohydrate. It is arranged in long, threadlike fibrils. Cellulose wound in this fashion is as strong as an equivalent thickness of steel. Lignin also adds rigidity to the cell wall. Materials like plastic or metal foams possess the same characteristics.» (Beukers e Hintze, 1999, pp.27 e 30).*

A madeira é um material anisotrópico, pelo que as suas propriedades mecânicas variam com o sentido das fibras; a sua estabilidade dimensional é também superior no sentido das fibras; e é no sentido transversal a estas que se verificam as maiores variações dimensionais, em que a madeira encolhe e incha com as diferenças de humidade. Estas variações só ocorrem, quando o conteúdo de humidade da madeira é igual ou inferior a 30%, e a incidência é maior em peças sólidas espessas, na medida em que os níveis de humidade da superfície e interior são diferentes; quando utilizada em peças laminadas, como vigas de madeira coladas (“Glulam Beams” ou “Glued Laminated Timber”), as variações são inferiores (Freas, 1989, p.32).

Como a madeira é um material orgânico, é frequentemente considerada de curta duração; no entanto, em verdade, a sua vida útil pode ser medida em séculos, se as estruturas construídas não forem sujeitas a condições de serviço adversas sérias. Uma questão crítica para o engenheiro

é a de conhecer se as propriedades estruturais da madeira se alteram ao longo do tempo; a este respeito, diversos estudos têm demonstrado que não se verificam perdas de resistência e rigidez apenas com o avanço do tempo. No entanto, a madeira é deteriorável por diversos organismos, como fungos, bactérias e insectos; os seus efeitos podem ser prevenidos através do controlo da humidade da madeira, ou conferindo tratamentos específicos com preservativos químicos (Freas, 1989, p.31).

*« Despite all the developments in alloys, polymers and other exotic materials synthesized by man, wood remains by far the most significant material class by volume and even on a weight basis. For most of man's history, the intelligent application of wood was largely a matter of selecting the optimum species for the job at hand and skilfully shaping the desired component. Within the last 200 years, however, several developments have occurred which have improved the utility of wood and greatly extended its range of application. » (Westbrook, 1990b, p.426).*

Exemplos destes desenvolvimentos são tratamentos diversos, nomeadamente, anti-fungos e anti-bactérias, resistência ao fogo e a químicos, e estabilização dimensional em situações de humidade variável (Westbrook, 1990b, p.426).

A madeira tem sido um dos mais versáteis e úteis materiais de construção; o tipo e durabilidade das estruturas construídas em diversos tempos e lugares dependem do tipo e qualidade da madeira disponível, das condições de uso, bem como da cultura e modo de vida do povo em questão. A aplicação de madeira em construção tem tido um desenvolvimento interessante na América do Norte, dada a relativa abundância do recurso, e o desenvolvimento disperso da região (Youngs, 1989, p.140). Uma das características da madeira que tem contribuído para a sua ampla utilização em aplicações estruturais é a favorável razão resistência /peso da madeira (Freas, 1989, p.33).

*« Wood is a remarkable design material. It has generally high strength-to-weight ratios, requires only limited amounts of energy in preparation for end use and can be made more durable by various treatments. It is aesthetically pleasing, comes from a renewable resource and its countless successful applications testify to its recognized value. In many places in the world, wood is the main structural material used in residential and other light-frame construction. Heavy construction now makes increased use of highly refined laminated timber products that are available in a wide variety of sizes and shapes, and are suitable for all types of structures. » (Suddarth, 1989, p.82).*

No entanto, salienta-se que a primeira coisa que um engenheiro moderno faz a uma árvore é cortá-la em pequenas partes, para depois as colar novamente; só mais recentemente se observou que a madeira em várias partes do tronco cresce de uma tal forma, que se encontra já pré-

esforçada, pelo que a resistência do tronco inteiro à tensão, é de cerca do dobro; portanto, defende-se que “cortar e colar” nem sempre representa a alternativa mais eficiente (Beukers e Hinte, 1999, p.30 baseados em Gordon, 1991<sup>72</sup>).

A exposição prolongada de madeira a temperaturas elevadas pode resultar em perda de resistência, pelo que estas aplicações devem ser abordadas com cuidado; inversamente, a madeira torna-se mais resistente em temperaturas muito baixas, pelo que este material tem sido aplicado em contentores para transporte de gás liquidificado (Freas, 1989, p.32). O coeficiente de expansão térmica da madeira situa-se entre 1/10 e 1/3 do de outros materiais estruturais. Genericamente, a madeira apresenta uma elevada resistência a diversos químicos, e a sua resistência natural pode ainda ser melhorada através de vários tratamentos (Freas, 1989, p.33).

Em Machado et al. (2003), são ainda considerados diversos mitos e imprecisões relacionados com a utilização de madeira, nomeadamente, no que concerne ao abate, tratamento e especificação da madeira a utilizar; considera-se que algumas práticas actuais imprecisas podem comprometer o desempenho e durabilidade do material, afectando consequentemente as construções em que é aplicado (Machado et al., 2003). É também referido que *«Embora constitua um dos primeiros materiais de construção utilizados pelo homem, a escolha do tipo de madeira a empregar, de forma a garantir o nível de qualidade esperado, apresenta manifestas dificuldades para o arquitecto, o projectista e o utilizador final...»* (Machado et al., 2003, p.1).

Suddarth (1989) expõe também a sua perspectiva acerca do avanço do conhecimento deste material:

*«Although all design can be recognized as a combination of art and science, this is particularly true with wood design because the available scientific knowledge is frequently incomplete, and it is therefore necessary to resort to knowledge accumulated through years of experience.»* (Suddarth, 1989, p.83).

### **5.1.2 Madeira e fogo**

Como exposto anteriormente na 1ª parte, o desempenho da madeira face ao fogo foi um dos aspectos críticos registados, e que terá contribuído parcialmente para a sua substituição.

Segundo Zicherman, o desempenho da madeira face ao fogo depende de diversas variáveis: da peça de madeira em questão (espécie e níveis de humidade); do tipo de exposição ao fogo (com ou sem chama); e da geometria da peça de madeira (por exemplo, se a peça é espessa ou fina) (Zicherman, 1989, p.107).

Em comparação com materiais poliméricos sintéticos, considera-se, que apesar de a madeira ser um material combustível, o seu desempenho apresenta diversas vantagens face ao fogo; distinguem-se algumas: como o seu valor calorífico é inferior, liberta menos calor; a presença de

---

<sup>72</sup> Gordon, J. E. (1991), *Structures; or why things don't fall down*, Penguin Books Ltd., London.

alguma humidade inerente à madeira tende a retardar a ignição; por outro lado, os membros de madeira não cedem na etapa inicial do fogo, o que contrasta com os sistemas estruturais de metal não protegidos, que cedem cedo e subitamente (Zicherman, 1989, p.107). Acresce ainda o seguinte:

*«...wood members exhibit a predictable decrease in cross-sectional area during fires. This property, coupled with design philosophies (prescribed in building codes) which call for the use of repetitive wood members, provides a system with a substantial margin of safety in structural fire performance applications. Finally, as compared to most synthetic polymers, absorbed moisture present in wood retards ignition of thick wood members, and the spread of fires from wood sources due to convection is minimal since excess pyrolyzates are rarely produced. Thus, physical barriers must usually be disrupted before wood-fueled fires will spread.»* (Zicherman, 1989, p.107).

Actualmente existem diversos tratamentos que aumentam a resistência da madeira e seus materiais derivados face ao fogo, para elementos de interior e exterior (Zicherman, 1989, pp.110-111); no entanto, Zicherman observa, que apesar de estes tratamentos de retardamento do fogo estarem disponíveis, a sua utilização tem sido esporádica (Zicherman, 1989, p.111).

Em Lennon et al. (2000) são apresentados os resultados de um teste de resistência ao fogo de um edifício de madeira de 6 andares, construído no Reino Unido. O teste foi realizado em condições reais, portanto, o edifício foi construído propositadamente para a realização do teste. Concluiu-se que a construção de madeira atende aos requisitos regulamentares de construção na Grã-Bretanha. É referido que a regulamentação foi alterada em 1991, de modo a permitir a construção de edifícios de madeira de mais de 4 andares; considera-se que existe alguma procura para este tipo de construção de madeira, de média altura, mas que ainda existem inconsistências regulamentares entre os códigos da Escócia e do Reino Unido, no que respeita aos requisitos de segurança face ao fogo. Salienta-se ainda, que atendendo a que não existe tradição neste tipo de construção no Reino Unido, deve ser providenciada formação acerca destas estruturas às brigadas de combate a incêndios (Lennon et al., 2000).

Em Suddarth, refere-se que os testes de resistência ao fogo e de qualificação de novas construções podem ser muito dispendiosos, pelo que as novas construções propostas, que não são facilmente relacionadas com outras existentes já aprovadas, devem considerar este potencial custo adicional (Suddarth, 1989, p.84).

### **5.1.3 Modificação da madeira**

Em Rowell (1999) são caracterizados diversos tratamentos que visam a melhoria ou alteração das propriedades da madeira, e de que constituem exemplos, a aplicação de vapor para curvar peças de mobiliário, ou o desenvolvimento de formas em concha com contraplacado (Rowell,

1999, pp-1-3). Outras soluções consistem em impregnar a madeira com uma resina termoendurecível, nomeadamente, para aumentar a sua dureza e estabilidade dimensional, ou para impermeabilizar a madeira (Rowell, 1999, pp-4-5).

## 5.2 Materiais derivados da madeira

Nos diversos painéis e outros materiais compósitos, a madeira é utilizada em diferentes tamanhos e geometrias (Youngquist, 1999, p.1), como ilustrado na seguinte figura:



Figura 18 – Elementos básicos de madeira utilizados em diversos materiais; do maior ao mais pequeno, Youngquist, 1999, p.2, baseado em Marra<sup>73</sup>, 1979.

Distinguem-se diferentes tipos de materiais derivados da madeira: aqueles que utilizam a folha como material de base, e de que são exemplos o contraplacado e outros painéis de folhas laminadas; outras soluções laminadas, as vigas de madeira laminadas coladas; painéis compósitos, nomeadamente, de fibras e partículas; componentes como vigas em I, ou superfícies esforçadas; e, entre outros, compósitos de madeira com outros materiais (Youngquist, 1999, p.2 baseado em Maloney<sup>74</sup>, 1986).

<sup>73</sup> Marra, G. (1979), Overview of wood as material. *Journal of Educational Modules for Materials Science and Engineering*, 1(4): 699–710.

<sup>74</sup> Maloney, T.M. (1986), Terminology and products definitions — A suggested approach to uniformity worldwide. In: *Proceedings, 18th international union of forest research organization world congress*; 1986 September; Ljubljana, Yugoslavia. IUFRO World Congress Organizing Committee.

### 5.2.1 Painéis

O desenvolvimento de painéis de contraplacado para o sector de construção teve início no princípio do século XX; o desenvolvimento de outros painéis derivados da madeira começou durante o último quarto do século XIX, no entanto, estes só foram introduzidos no mercado durante o século XX. O desenvolvimento de materiais compósitos à base de madeira teve um impacto significativo na utilização deste recurso, e criou oportunidades para produtos criativos; a possibilidade de fabricar produtos estruturais, numa diversidade de formas e combinações com resinas e outros materiais, e a oportunidade em utilizar resíduos de madeira derivados de outros tipos de produção, incentivou a aplicação deste conceito (Youngs, 1989, p.142).

Muito importante para a tecnologia da madeira foi o desenvolvimento de colas resistentes à água; apesar de o contraplacado para aplicação em mobiliário ser produzido desde a Revolução Francesa, só com o advento destas colas a baixo custo, impulsionado pelas necessidades da indústria aeronáutica da 1ª G.M., é que o contraplacado se desenvolveu como um material de construção significativo. Mais recentemente, com o aparecimento de diversas resinas sintéticas (fenol e ureia formaldeído, melamina e resorcinol), obtiveram-se colas verdadeiramente resistentes à água, que no entanto requerem cura. Em 1925, a produção de contraplacado nos EUA era de cerca de  $14 \times 10^6 \text{ m}^2$ ; em 1980 foram produzidos mais de  $1.9 \times 10^9 \text{ m}^2$  (Westbrook, 1990b, p.429).

Genericamente, existem dois tipos de contraplacado: o contraplacado de madeiras rijas, cuja aplicação se destina essencialmente a fins decorativos; e o contraplacado de madeiras macias, utilizado essencialmente em construção. No entanto existem excepções, quanto ao tipo de madeira utilizada e aplicação (Youngquist, 1999, p.7). Como o contraplacado é constituído por múltiplas folhas de madeira, com orientação cruzada, comparativamente com a utilização de madeira maciça, o contraplacado apresenta a vantagem de propriedades mais uniformes; entre outros benefícios, distingue-se a possibilidade de cobrir uma maior área com menor quantidade de madeira (Youngquist, 1999, pp.6-7).

De um modo geral, nos painéis de fibras e partículas são utilizados adesivos para ligar as partículas ou fibras, e o processamento dos diversos painéis é idêntico:

*« Raw material for OSB, waferboard, and fiberboard is obtained by flaking or chipping roundwood. For fiberboard, chips are reduced to wood fiber using refiners that usually use steam to soften the wood. The comminuted wood is then dried, adhesive is applied, and a mat of wood particles, fibers, or strands is formed; the mat is then pressed in a platen-type press under heat and pressure until the adhesive is cured. The bonded product is allowed to cool and is further processed into specified width, length, and surface qualities.» (Youngquist, 1999, p.13).*

No OSB (painel de tiras orientadas) em vez de partículas, são utilizadas tiras de madeira; este painel destina-se a aplicações estruturais, e é amplamente utilizado em construção (Youngquist, 1999, p.13). A indústria de painéis de aglomerado de partículas surgiu da necessidade de descartar grandes quantidades de serradura e aparas, entre outros tipos de desperdício gerado nas indústrias de madeira (Youngquist, 1999, p.14). Comparativamente com os painéis de fibras, os painéis de partículas utilizam menos energia na sua produção, mas a sua resistência é também inferior. O aglomerado de partículas é amplamente utilizado em mobiliário, e é frequentemente revestido com outros materiais para propósitos decorativos (Youngquist, 1999, p.15).

Entre os painéis de fibras, distingue-se o MDF (painel de fibras de média densidade); a indústria de mobiliário é o principal mercado deste material, e o MDF é frequentemente utilizado nesta indústria em vez de madeira maciça, contraplacado, e painéis de partículas (Youngquist, 1999, p.20 baseado em Youngquist et al.<sup>75</sup>, 1997). Nos diversos painéis, podem também ser utilizados aditivos e preservativos para melhorar, nomeadamente, a sua durabilidade e resistência ao fogo (Youngquist, 1999, p.4 e pp.23-24).

### **5.2.2 Vigas de madeira laminada colada**

As construções pesadas de madeira utilizavam peças maciças, mas dado o crescente custo e dificuldade de obtenção destas, actualmente, são comumente utilizadas peças de madeira laminadas coladas. O advento desta tecnologia permitiu suplantar as limitações impostas pela dimensão das peças maciças, e a construção de membros curvos, nomeadamente arcos, de formas ilimitadas (Freas, 1989, pp.34-35); estas peças contínuas permitem ainda resolver alguns problemas na conexão de membros de pequenas dimensões. A madeira é o material de base de uma grande variedade de materiais disponíveis actualmente, para diversas aplicações (Freas, 1989, p.36).

*«Timber structures were at one time limited in the spans over which they could be used, because of the limited lengths of timber available and the limited cross-sectional dimensions. Modern technology, including glued laminated construction and modern methods of connection, has largely removed many of these limitations. Now, long span arches and beams, trusses and dome-type structures provide large clear areas for recreational and athletics buildings, churches, auditoriums and bridges.» (Freas, 1989, p.31).*

---

<sup>75</sup> Youngquist, J. A., Krzysik, A. M., Chow, P., Meimban, R. (1997), Properties of composite panels. In: Rowell, Roger M., Young, Raymond A., Rowell, Judith K., (eds.), *Paper and composites from agro-based resources*. Boca Raton, FL: CRC Lewis Publishers.

Para o desenvolvimento de componentes de madeira de grandes dimensões, contribuíram o desenvolvimento de novos conectores, nomeadamente metálicos, bem como os sistemas computacionais disponíveis desde os anos 60, que permitiram o cálculo de análises estruturais complexas (Suddarth, 1989, p.85). Por outro lado, foi também fundamental o desenvolvimento de colas; estas viabilizaram a construção de vigas e arcos de madeira laminada (Westbrook, 1990b, p.426).

*«The advent of techniques for glue laminating of wood provided a practical means for manufacturing wood structural members not limited by the size and shape of a tree. The use of glued laminated timber permits the construction of timber buildings with long clear spans and a variety of shapes.»* (Wibbens, 1989, p.129).

Nas vigas de madeira laminada colada, o veio das peças é orientado no mesmo sentido; estas vigas foram inicialmente utilizadas na Europa, no final do século XIX (Wibbens, 1989, p.127; Issa e Kmeid, 2005, p.100); mas a utilização destas expandiu-se, essencialmente, a partir da 2ª Guerra Mundial, com o desenvolvimento de adesivos sintéticos (Wibbens, 1989, p.127).

As principais vantagens da utilização das vigas coladas consistem: na produção de elementos estruturais de grandes dimensões, a partir de pequenas peças de madeira; na possibilidade de fabricar e usar elementos curvos; e, de variar a espessura ao longo das peças, e de acordo com os requisitos de resistência pretendidos. Face à utilização de membros de madeira maciça, estas vigas coladas apresentam também uma maior estabilidade dimensional e melhores desempenhos (Wibbens, 1989, pp.127-128).

*«Curved, tapered circular, and spiral-shaped members have been manufactured. Curved arches have been used to span more than 300 ft (91 m). Glulam domes exceeding 500 ft (152 m) have been built.»* (Issa e Kmeid, 2005, pp.100-101).

*«Today wood remains important to the engineer, the architect, and the builder by reason of improved technology. Modern technology has increased the durability of wood, spurred a host of new wood products such as plywood, particleboard, and other panel products, largely removed the limitations of size and form through the glue-laminating process, and developed improved fastness with greater load-carrying capacity. Although many construction products using wood as the raw material have been introduced into the construction market in the last 20 or more years and are presently being used extensively the dominant use of wood is still in the form of lumber which are pieces of wood cut from tree trunks.»* (Issa e Kmeid, 2005, p.99).



### Pavilhão do Atlântico

O pavilhão do Atlântico (Utopia) constitui um exemplo de utilização de vigas de madeira laminada colada; e, como referido em Sinn (2000), integra o arco sem apoio mais longo do mundo neste material, de cerca de 115 metros (Sinn, 2000, p.1). Na imagem seguinte apresenta-se a secção de um modelo, em que se visualiza o arco de madeira:

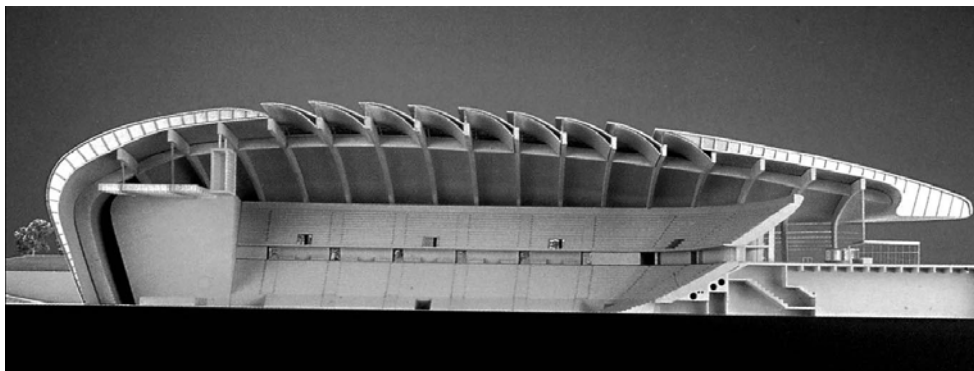


Figura 19 – Secção de modelo, pavilhão do Atlântico, Sinn, 2000, p.1.

Considera-se que a madeira foi seleccionada por diversos motivos: enquadramento no tema ambiental da exposição “O Oceano: Um legado para o Futuro”<sup>76</sup>; eficiência de custo em comparação com alternativas estruturais de aço (Sinn, 2000, p.1); e, enquadramento cultural, nomeadamente, inspiração nas caravelas do século XVI (Sinn, 2000, p.2 baseado em Cohn<sup>77</sup>, 1999), através da sugestão do casco de um navio no interior (Sinn, 2000, pp.2-3).



Figura 20 – Pavilhão Atlântico, [www.pavilhaoatlantico.pt](http://www.pavilhaoatlantico.pt)

<sup>76</sup> Tradução de “The Ocean: A Heritage for the Future”.

<sup>77</sup> Cohn, David (1999), *Atlantico Pavilion Lisbon, Portugal*. Architectural Record. p.114-119, August, 1999.

### 5.2.3 Soluções compósitas estruturais

Issa e Kmeid (2005) investigaram as propriedades de vigas de madeira coladas (Glulam Beams) reforçadas com outros materiais, umas com folha de aço, e outras com polímeros reforçados com fibras de carbono. Observou-se que estas soluções compósitas oferecem melhores resultados, quanto à resistência suportada pelas vigas, e quanto ao facto de estas apresentarem um modo de fractura dúctil, em vez de frágil (Issa e Kmeid, 2005).

Em Stojić e Cvetković (2001) analisam-se estruturas compósitas de madeira e betão; também nestas estruturas, como em outros compósitos, o objectivo é o de aproveitar as diferentes propriedades dos materiais, para construir uma solução mais eficiente. Neste caso, combina-se a elevada resistência à tensão da madeira, com a elevada resistência à compressão do betão. Considera-se que esta estrutura compósita apresenta vantagens face a composições de betão e aço, e estruturas clássicas de madeira; entre as vantagens distinguem-se: melhores condições de serviço, isolamento sonoro, resistência ao fogo, maior leveza e resistência (Stojić e Cvetković, 2001).

Em Moore (2000) são apresentados detalhes da construção de um bloco de apartamentos de 12 andares, em que a madeira é extensamente utilizada, em combinação com o aço. A utilização de madeira foi motivada por ser um material económico, comparativamente com o betão; este edifício, o “Scotia Place”, foi construído em Auckland, Nova Zelândia, em 1999/2000 (Moore, 2000).

*«High-rise construction has been primarily limited to concrete and steel ... With a better understanding of other material properties, in particular wood, and the ability to automate design procedures through computers, the inclusion of wood as a construction material for high-rise building is feasible and provides an opportunity to explore alternative construction techniques.» (Moore, 2000, p.1).*

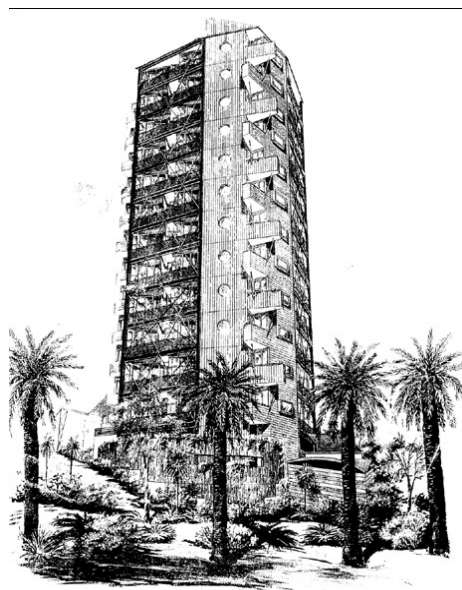


Figura 21 – Desenho do Scotia Place, Moore, 2000, p.2.

### **Cobertura EXPO 2000, Hanover**

Na EXPO 2000, em Hanover, foi desenvolvida uma cobertura de madeira para uma área de encontro central, e cujos detalhes de desenvolvimento e construção, são apresentados em Burger et al. (2000). A estrutura é constituída por diversos módulos individuais, e cada módulo assemelha-se a um “guarda-chuva”; genericamente, cada módulo é constituído por uma torre, quatro conchas e quatro braços, que constituem o suporte das conchas. Cada módulo cobre uma área de 40x40m, e tem uma altura total de 26m. Cada concha tem um peso de 36t; a estrutura central da torre é de aço (Burger et al, 2000). As imagens seguintes apresentam alguns momentos da sua construção:



Figura 22 – EXPO-roof, cobertura de madeira, EXPO 2000, Hanover, Burger et al., 2000.

Também nesta exposição, a madeira foi seleccionada pelo seu enquadramento temático: considera-se que esta construção inovadora e exigente quanto à técnica e arquitectura, simboliza extraordinariamente o espírito da EXPO 2000 – “Ser Humano, Natureza, Técnica”<sup>78</sup>. O edifício demonstra as possibilidades em utilizar diversos produtos de madeira em construção (Burger et al., 2000, p.1).

---

<sup>78</sup> Tradução de “Human Being, Nature, Technique”.

### 5.3 Compósitos

Segundo Youngquist (1999), o interesse no desenvolvimento de compósitos com fibras de madeira e outros materiais, inorgânicos ou poliméricos, derivou de uma ou mais das seguintes questões:

- Reduzir os custos dos materiais, combinando um material de custo inferior com um dispendioso;
- Desenvolver produtos que utilizem materiais reciclados, e que sejam recicláveis;
- Produzir compósitos que exibam propriedades específicas superiores às dos componentes materiais individuais (Youngquist, 1999, p.24).

#### 5.3.1 **Compósitos de madeira e materiais inorgânicos**

Essencialmente, distinguem-se três tipos de materiais inorgânicos que são combinados com madeira: o gesso, o cimento Portland, e cimento magnésico (menos utilizado) (Youngquist, 1999, pp.24-25). Algumas particularidades destes materiais são a sua elevada resistência ao fogo e à deterioração. Estes compósitos são ainda caracterizados por uma produção versátil, e salienta-se que é possível produzi-los com um pequeno investimento de capital (Youngquist, 1999, p.25).

*« A unique feature of inorganic-bonded composites is that their manufacture is adaptable to either end of the cost and technology spectrum. This is facilitated by the fact that no heat is required to cure the inorganic material. For example, in the Philippines, Portland cement-bonded composites are mostly fabricated using manual labor and are used in low-cost housing. In Japan, the fabrication of these composites is automated, and they are used in very expensive modular housing. » (Youngquist, 1999, p.25).*

Em Moslemi (1999) apresenta-se uma exposição de diversos compósitos de madeira e minerais, enquadramento histórico, e respectivas tecnologias de processamento. Como observado, o conceito de combinar madeira ou outra biomassa com materiais inorgânicos é muito antigo; desde a pré-história que se utilizam este tipo de materiais compósitos (Moslemi, 1999, p.162). Mais recentemente, alguns destes materiais têm sido desenvolvidos na Europa desde o final do século XIX, entre os quais blocos ou tijolos, em que se combinam partículas de madeira com um material cementoso; e, desde 1928, estão disponíveis no mercado produtos em que se combinam as propriedades de fibras de madeira e cimento, e que são comercializados através de nomes como Heraklit; depois da 2ª G. M. registaram-se outros desenvolvimentos destas tecnologias (Moslemi, 1999, p.168).

A utilização de fibras de madeira nestes produtos resultou da necessidade de substituir as fibras de amianto, utilizadas neste tipo de materiais compósitos, quando nas décadas de 60 e 70 se confirmou que a inalação de amianto causava problemas de saúde significativos. Actualmente, estima-se que 90% destes materiais compósitos sejam produzidos com fibras de amianto, e que nos restantes 10% sejam utilizadas fibras de celulose e de vidro, principalmente na América do Norte e Europa. Consequentemente, foram consideradas diversas fibras em substituição, entre as quais polpa de madeira, fibras de vidro, aço, Kevlar e carbono, por diversos investigadores e indústrias. Contemplaram-se múltiplos aspectos relacionados com a sua utilização, nomeadamente, resistência mecânica, temperatura, e preço. Entre as alternativas, defende-se que as fibras de celulose são as mais adequadas para este tipo de produtos (Moslemi, 1999, pp.162-164). Na figura seguinte apresenta-se um bloco compósito, em que se combinam partículas de madeira e cimento Portland:



Figura 23 – Bloco compósito: partículas de madeira e cimento Portland, Moslemi, 1999, p.178.

De um modo geral, considera-se que o mercado Norte-americano destes produtos compósitos de madeira e minerais está ainda no início do seu desenvolvimento (Moslemi, 1999, p.175), e estima-se um crescimento rápido (Moslemi, 1999, pp.177-178). Por outro lado, o número de indústrias com capacidade para produzir estes materiais tem proliferado pelos diversos continentes (Moslemi, 1999, pp.161-162), e existe actualmente uma grande diversidade deste tipo de materiais (Moslemi, 1999, p.176).

Entre as principais vantagens destes compósitos face a outros materiais de construção tradicionais distinguem-se: a sua resistência à água, elevada durabilidade em aplicações exteriores, e um excelente desempenho face ao fogo (Moslemi, 1999, p.161).

São ainda referidas outras características destes materiais, identificadas num estudo de mercado recente, e que podem constituir vantagens no âmbito da substituição de materiais tradicionais: elevada resistência a diferentes tipos de impacto, leveza, redução de desperdício, resistência a diversos organismos, durabilidade, uniformidade das cores, estabilidade dimensional, resistência a variações térmicas, similaridade estética aos produtos a substituir, aprovação pelos códigos de construção, garantia longa (50 anos), resistência à luz ultravioleta, resistência melhorada, e, a sua instalação é comparável aos produtos (tradicionais) de madeira, sendo possível, nomeadamente, serrar e pregar estes materiais compósitos (Moslemi, 1999, pp.178-179).

Moslemi conclui o seguinte:

*«Fiber-cement products are well accepted by builders in regions where they are available. The opportunity for high-margin manufacturing is excellent. With the problems faced by other siding products such as OSB, hardboard etc., fiber-cement siding is positioned to capture a substantial amount of market share from those products. The increased market share in addition to the general growth in the market is anticipated to result in a the construction of a significant number of additional manufacturing plants in North America. By late 1990's for example, the US consumption of siding materials will reach 9 billion ft<sup>2</sup>/year. In addition to siding, these products will be in a position to enter other markets (tile backers, fencing, cladding and a host of some 30 other product markets) in varying volumes.»* (Moslemi, 1999, p.179).

Em Singh et al. (2003) apresenta-se uma nova tecnologia de obtenção de materiais cerâmicos à base de madeira, um recurso renovável, designados de ecocerâmicos (“environmentally conscious ceramics”). A tecnologia consiste na carbonização da madeira, e posterior infiltração de silício ou óxidos (Singh et al., 2003, p.248).

Considera-se que esta tecnologia tem um grande potencial de utilização, e permite baixos custos de produção; entre as potenciais aplicações distinguem-se: sensores de humidade, escudos electromagnéticos, componentes automóveis e aeroespaciais. Salienta-se que os materiais ecocerâmicos são também promissores como implantes dentários e ortopédicos, devido à sua micro estrutura ímpar, e boas propriedades mecânicas (Singh et al., 2003, p.253). Na imagem seguinte apresentam-se algumas das formas possíveis de obter com esta tecnologia:





Figura 24 – Formas obtidas com ecocerâmicos, Singh et al., 2003, p.253.

*«These materials exhibit the microstructure that resembles the microstructure of the wood preforms. The silicon infiltrated materials behave as silicon carbide-based cellular solids, reaching very high strengths. This technology provides cost effective and eco-friendly route to advanced ceramic materials. The flexibility to fabricate complex shapes, and the availability of unique microstructures in nature makes this fabrication technique very promising for producing materials suitable for structural and lightweight applications.»* (Singh et al., 2003, p.253).

### 5.3.2 Compósitos de madeira e materiais poliméricos

Nos compósitos de madeira e polímeros, a utilização de resinas termoendurecíveis tem uma longa história; o uso de termoplásticos é uma inovação mais recente (Youngquist, 1999, p.26). A madeira moída é utilizada essencialmente como enchimento, e as fibras de madeira actuam mais como um reforço, do que resultam propriedades melhoradas. Na grande maioria dos compósitos termoplásticos reforçados, são utilizados materiais inorgânicos como reforço ou enchimento, entre os quais o vidro. Entre as vantagens da utilização de materiais lenho-celulósicos distingue-se: a sua leveza, menor abrasão, e o facto de serem renováveis; como reforço, estes materiais conferem rigidez e resistência à matriz termoplástica, podendo ainda melhorar a estabilidade dimensional, comparativamente com uma matriz não reforçada. Nestes compósitos são também utilizados diversos aditivos, nomeadamente, para melhorar a adesão entre as fibras e a matriz, ou a processabilidade do compósito (Youngquist, 1999, p.27).

Distinguem-se dois tipos de compósitos de fibras de madeira e termoplásticos: uns têm um elevado conteúdo de termoplástico, e as fibras de madeira actuam essencialmente como reforço ou enchimento; no outro, o conteúdo de material termoplástico é menor, e a sua função é a de ligar as fibras de madeira, que neste caso são mais abundantes. Os compósitos com elevado conteúdo de termoplástico, podem ser processados por extrusão e injeção, entre outros processos; os compósitos com grandes quantidades de madeira, não têm a mesma facilidade de moldação, e na sua conformação são essencialmente prensados (Youngquist, 1999, pp.27-28). Portanto, quanto menor o conteúdo de termoplástico, mais básica ou simples será a forma do compósito, mais parecida com um painel; quanto maior a quantidade do polímero, mais as formas dos compósitos se assemelham às destes materiais, e de que constitui um exemplo a figura a seguir apresentada:

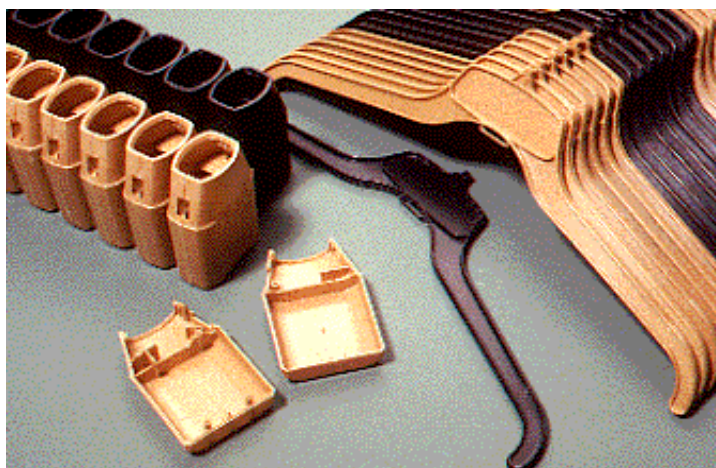


Figura 25 – Termoplásticos reforçados com enchimento lenho-celulósico, Youngquist, 1999, p.27.

McHenry e Stachurski (2003) compararam algumas propriedades mecânicas, entre compósitos com matriz de nylon reforçada com fibras de madeira, e compósitos com matriz de polipropileno e reforço das mesmas fibras. Concluiu-se que não existe uma boa adesão entre a matriz de polipropileno e as fibras de madeira, pelo que neste compósito, a utilização do reforço não produz uma melhoria das propriedades mecânicas da matriz. No entanto, regista-se uma boa adesão entre as fibras de madeira e a matriz de nylon, pelo que desta combinação, resultam melhorias na resistência à tensão e módulo de elasticidade (McHenry e Stachursky, 2003).

Em Yano (2001) foi investigada a resistência de madeira comprimida e impregnada com uma resina fenólica; para o efeito foram utilizadas folhas de 60x40x2mm (Yano, 2001, p.1127). Observou-se que as peças tratadas apresentam resultados superiores em cerca de 50%, e que se pode observar na figura seguinte:



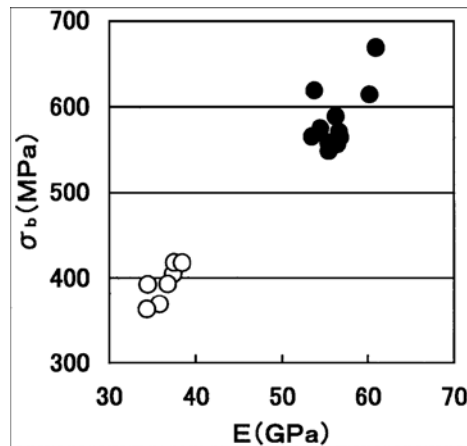


Figura 26 – Efeitos da combinação de dois tratamentos, NaClO<sub>2</sub> e NaOH, nas propriedades mecânicas de madeira impregnada com resina, e comprimida; ○: sem tratamento, ●: tratada, Yano, 2001, p.1128.

Em Nakagaito e Yano (2005) expõem-se algumas propriedades mecânicas de um novo compósito, de elevada resistência, comparativamente com outros em que se utilizam fibras naturais. O compósito combina microfibrilas de celulose (“MFC, microfibrillated cellulose”) e uma matriz de resina fenólica. As microfibrilas foram obtidas a partir de fibras de polpa kraft, posteriormente processadas (separação) para obter as microfibrilas (Nakagaito e Yano, 2005), e cuja diferença se pode observar na Figura 27.

A resistência das microfibrilas é elevada, sendo comparável à das fibras aramidas (Nakagaito e Yano, 2005, p.155 baseados em Sperling<sup>79</sup>, 2001). No entanto, os compósitos obtidos até então com polpa, apresentam propriedades fracas que não reflectem o potencial das microfibrilas; defende-se que isso resulta de uma fraca adesão entre as fibras, ou entre estas e a matriz (Nakagaito e Yano, 2005, p.155).

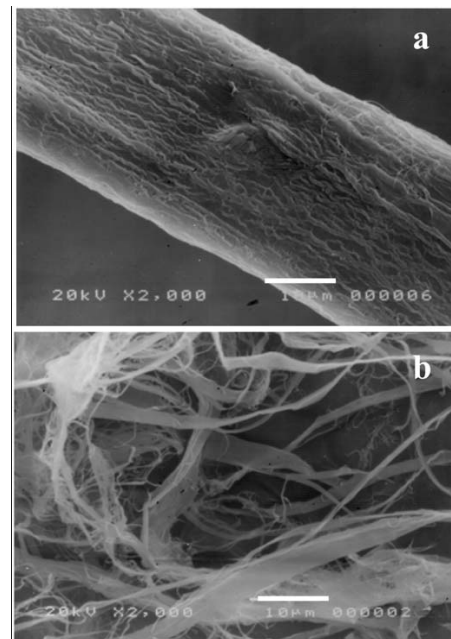


Figura 27 – Micrografias obtidas por varrimento electrónico: **a** fibra elementar de polpa kraft; **b** microfibrilas de celulose (MFC). Barra de escala: 10 μm, Nakagaito e Yano, 2005, p.156.

<sup>79</sup> Sperling, L. H. (2001), *Introduction to Physical Polymer Science* (Wiley, New York 2001) p. 499.

Com a nova composição, observou-se que a estrutura em rede das microfibrilas produz melhores condições de adesão, do que resulta um compósito com propriedades melhoradas (Nakagaito e Yano, 2005, p.158). Os resultados obtidos foram comparados com as propriedades de uma liga de magnésio:

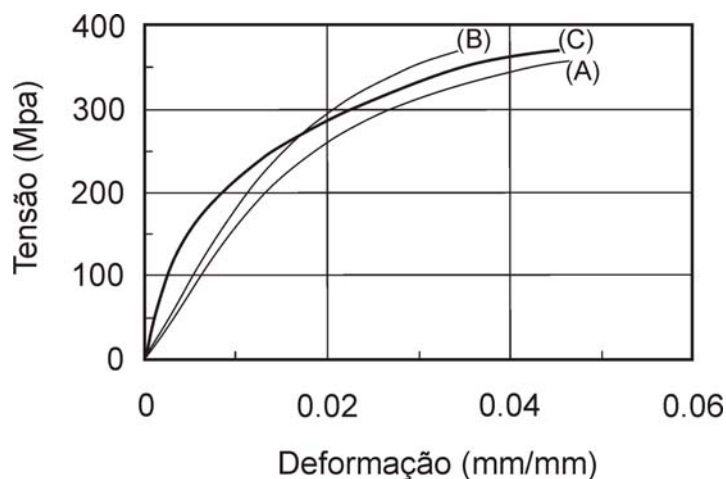


Figura 28 – Curvas tensão-deformação de (A) compósito de MFC com um conteúdo de 6% de resina fenólica (PF) e comprimido a 100 MPa, (B) compósito de MFC com um conteúdo de 10% de resina fenólica (PF) e comprimido a 100 MPa, e (C) liga de magnésio AZ91, com tratamento T6, Nakagaito e Yano, 2005, p.158.

Nakagaito e Yano observam o seguinte:

*«Considering that the density of MFC-based composites is 1.45 g/cm<sup>3</sup> while that of magnesium alloy is 1.8 g/cm<sup>3</sup>, the specific strength (the ratio of  $\sigma_b$  to density) of the MFC-based composite is significantly higher. The interconnected web-like structure of nano-scale fibrils and microfibrils of MFC led to a composite with outstanding mechanical properties rivaling those of magnesium alloy.»* (Nakagaito e Yano, 2005, p.158).

*«The mechanical properties of the new composites have been quite impressive; the bending strength achieved values of about 370MPa, an order of magnitude higher than that of an ordinary wood-fiber-based composite. This strength is comparable to that of magnesium alloy, a metal widely used in electronic device casings due to its high specific strength.»* (Nakagaito e Yano, 2005, p.155).

#### **5.4 Investigação e tecnologias da madeira**

Gross e Ezerietis (2003) estudaram a possibilidade de utilizar madeira de junípero como um implante, atendendo a que a madeira e o osso têm em comum uma função de suporte, e que permite o transporte de nutrientes. A madeira de junípero tem ainda a particularidade de conter um óleo que evita a infecção, e melhora a biocompatibilidade do material. A experiência foi realizada em coelhos, nos quais foram implantadas peças desta madeira com a forma do osso fêmur; durante os 3 anos da experiência, registou-se uma boa aceitação do implante, e observou-se, inclusive, a progressão de osso na madeira, melhorando a integração do implante (Gross e Ezerietis, 2003).

Fossen et al. (2000) investigaram algumas propriedades mecânicas de compósitos inteiramente biodegradáveis. Como matriz utilizou-se caseína, uma proteína do leite, com um desempenho fraco; como reforço foram utilizadas fibras de madeira e linho, em composições separadas. Observou-se, que em comparação com as propriedades da matriz, estes compósitos apresentam desempenhos mecânicos muito superiores, que resultam de uma boa adesão entre a matriz e o reforço (Fossen et al, 2000).

Kurimoto et al. (2000) investigaram a utilização de madeira liquidificada na produção de poliuretano. Observou-se que na composição obtida, LW-PU (madeira liquidificada e poliuretano), as propriedades mecânicas melhoraram significativamente (Kurimoto et al., 2000).

Em Rodríguez et al. (2003) apresenta-se um novo acabamento cerâmico-polimérico para superfícies de madeira. Este material proporciona uma elevada resistência ao desgaste, superior em cerca de 400% aos materiais geralmente utilizados neste tipo de superfícies. Este acabamento tem ainda as particularidades de ser resistente às radiações UV, e de apresentar uma elevada transparência e brilho (Rodríguez et al., 2003).

Em Järvelä et al. (1999) apresenta-se um novo método de acabamento de madeira, neste caso de contraplacado, com um material termoplástico, o polipropileno. O método consiste na aplicação do polímero por extrusão, a uma elevada temperatura, e com baixa viscosidade, para promover a penetração do termoplástico nos poros da madeira. Deste método resulta uma elevada adesão mecânica do acabamento à superfície da madeira (Järvelä et al., 1999).

Em Gfeller et al. (2004) apresenta-se uma nova forma de união de peças de madeira maciça, sem a utilização de conectores ou adesivos; a tecnologia consiste na fundição das superfícies de madeira a unir; esta fundição é induzida por acção mecânica e aplicação de calor, e não utiliza qualquer resina termoplástica; a fusão resulta da transferência de lenhina e alguma hemicelulose amolecida entre as peças. Na experiência foram unidos dois componentes de 150x20x15mm, do que resultou uma peça de madeira com dimensões de 150x20x30mm. As uniões obtidas satisfazem os principais requisitos para aplicações estruturais, mas apenas para utilização no interior; ainda assim, considera-se que esta tecnologia é um contributo relevante, na medida em

que inicia o caminho da colagem de madeira maciça sem adesivos, e com aplicação, nomeadamente, em mobiliário e diversas uniões de interior (Gfeller et al., 2004, p.52).

## **5.5 Conclusão**

Demonstrou-se que o desenvolvimento tecnológico da madeira tem sido substancial, pelo que se poderá concluir, que também ocorreu uma revolução neste grupo de materiais.

*Como se caracteriza a madeira actualmente? Qual o seu potencial técnico de aplicação?  
Que inovações se identificam, e que factores as motivaram?*

Identificam-se algumas linhas gerais no âmbito destas inovações:

- Manipulação das propriedades da madeira através de diversos tratamentos, nomeadamente químicos, e na procura de melhores desempenhos face ao fogo e durabilidade desta;
- Produção de diversos materiais mais homogéneos;
- Maior eficiência na gestão do recurso;
- Desenvolvimento de soluções que ultrapassam os limites /dimensões da árvore;
- Manipulação dos constituintes mais elementares da madeira;
- E, utilização da madeira em materiais compósitos.

Conclui-se que no conjunto dos materiais em que a madeira é utilizada, se encontram soluções diversificadas, tecnicamente eficientes, e pouco tradicionais.

## 6 Estética e significados da madeira

Neste ponto, propõe-se uma caracterização das dimensões estéticas e culturais da madeira, através das seguintes questões:

*Que qualidades estéticas se identificam na madeira?*

*Que valores e significados são transportados por este material?*

Os atributos estéticos são os que se relacionam com os sentidos; defende-se que existe consenso acerca de que os metais são frios, e que a cortiça é quente; de um modo geral, considera-se que os atributos estéticos podem ser quantificados (Ashby e Johnson, 2002, p.68).

Ashby e Johnson consideram que existe um carácter ou personalidade nos materiais, ainda que subtil e nem sempre perceptível, antes de estes serem integrados numa aplicação (Ashby e Johnson, 2002, pp.75-76). Defende-se que um produto adquire parte da personalidade do material (Ashby e Johnson, 2002, p.81), que os materiais têm uma personalidade intrínseca, mas que esta depende do design do produto (Ashby e Johnson, 2002, p.170). Por outro lado, salienta-se que as percepções não são constantes, e que dependem da época, cultura, aspectos demográficos, e gosto, entre outras questões (Ashby e Johnson, 2002, p.170).

Em Ashby e Johnson expõem-se algumas qualidades estéticas, e valores e significados transportados pela madeira, que caracterizam a personalidade deste material: a madeira é um material natural; o seu veio atribui à superfície uma textura, padrão e expressão distintos de qualquer outro material. A madeira é ainda percebida como mais quente do que muitos outros materiais, e tem uma aparência macia; considera-se que a este material se encontram ainda associadas sonoridades e cheiros. Por outro lado, a madeira tem uma tradição, e transporta associações de artesanato. Salienta-se que a madeira também envelhece bem, e que com o tempo adquire um carácter adicional; considera-se que as aplicações da madeira são mais valiosas quando antigas, do que em novas (Ashby e Johnson, 2002, pp.73-74).

Obata et al. defendem que o facto de a madeira ser um material quente ao tacto é uma vantagem à sua utilização em certas aplicações, e, nomeadamente, em comparação com os metais, que são muito quentes no verão e frios no Inverno (Obata et al., 2005).

Acerca dos materiais utilizados nos brinquedos, Barthes (1957) expõe o seguinte:

*«O emburguesamento do brinquedo não se reconhece somente através das suas formas, que são inteiramente funcionais, mas também através da sua substância. Os brinquedos correntes são*

*de uma matéria ingrata, produtos de uma química, não de uma natureza. Muitos deles são agora moldados em massas complicadas; a matéria plástica assume neles uma aparência simultaneamente grosseira e higiênica, que anula o prazer, a doçura, a humanidade do tacto. Um signo consternador é o desaparecimento progressivo da madeira, matéria que é todavia ideal pela sua dureza e pela sua doçura, pelo calor natural do seu contacto; a madeira retira a toda a forma a que serve de suporte a agressão dos ângulos demasiado agudos, o frio químico do metal; quando a criança a percute ao manejá-la, a madeira não vibra nem range, mas emite um som ao mesmo tempo surdo e claro; é uma substância familiar e poética, que deixa a criança num estado de continuidade de contacto com a árvore, a mesa, o soalho. A madeira não fere, nem se desarranja; ela não se parte, gasta-se, pode durar muito tempo, viver com a criança, modificar pouco a pouco as relações do objecto com a mão; se morre é diminuindo, não empolando, como os brinquedos mecânicos, que desaparecem sob a hérvia de uma mola partida. A madeira faz objectos essenciais, objectos de sempre. Ora, já quase não há brinquedos de madeira, do género desses currais dos Vosges, só possíveis, é verdade, numa época de artesanato. O brinquedo é daqui por diante químico, tanto na substância como na cor; a sua própria matéria é uma iniciação à cenesia do uso, não do prazer. Esses brinquedos morrem bem depressa e, uma vez mortos, não têm para a criança qualquer vida póstuma.» (Barthes, 1957, p.53).*

Ljungberg e Edwards distinguem duas dimensões dos produtos: uma física e outra metafísica (Ljungberg e Edwards, 2003, p.520); de um modo geral, considera-se que a dimensão física corresponde ao desempenho técnico e também ambiental do produto /material, e que à dimensão metafísica correspondem as experiências estéticas, valores e significados culturais do produto /material. Defende-se que também os materiais têm um valor metafísico; na Escandinávia, as habitações de madeira são populares, mas na Europa Central são vistas com cepticismo. Os produtores escandinavos têm tentado exportá-las para a Alemanha, mas não têm sido bem sucedidos porque as casas de madeira são tidas como de qualidade inferior às de pedra ou betão. E, nos países mediterrâneos, como a madeira é escassa e dispendiosa, é percebida mais como um material luxuoso; nos países escandinavos, como a madeira é um material de construção comum, uma casa de pedra é mais dispendiosa e prestigiante. Defende-se que a oferta e procura são factores determinantes no valor metafísico do material, bem como o seu custo real (Ljungberg e Edwards, 2003, p.524).

Considera-se que os aspectos metafísicos dos produtos ou materiais são por vezes determinantes para a sua utilização; exemplificando, os materiais cerâmicos ou plásticos são geralmente os ideais para o chão de cozinha, no que respeita à durabilidade /tempo de vida útil e facilidade de limpeza; no entanto, em algumas culturas é frequente a utilização de madeira para o efeito, sendo esta sensível à água e ao uso – fica riscada /arranhada com facilidade; neste caso a madeira é escolhida por valores metafísicos: um material natural com alguma história (Ljungberg e Edwards, 2003, p.528). Refere-se que os materiais naturais são populares em muitos produtos, de que são exemplo a madeira ou a lã, e que por vezes transportam referências históricas e /ou

regionais (Ljungberg e Edwards, 2003, p.520); os materiais familiares transportam associações que derivam do seu uso tradicional: a madeira polida, uma sensação de calor, civilização, luxo discreto; o alumínio escovado, uma sensação de precisão mecânica (Ashby e Johnson, 2002, p.41).

Considera-se que o equilíbrio entre as propriedades físicas e metafísicas de um produto variam em função do tipo de produto ou componente em questão; enquanto num componente invisível, de um modo geral, a importância das propriedades metafísicas é baixa, e a das propriedades físicas é elevada, num componente visível observa-se o inverso: as propriedades metafísicas têm uma importância substancial, elevada, enquanto a relevância das propriedades físicas é baixa. Salienta-se que este equilíbrio é variável entre produtos e consumidores (Ljungberg e Edwards, 2003, p.523).

Refere-se que o investimento em materiais de boa qualidade, que impressionam ou são atractivos, e em bom design, pode levar ao desenvolvimento das propriedades metafísicas do produto a um preço moderado; uma escolha de materiais bem sucedida e um bom design podem aumentar a procura dos clientes e o preço dos produtos (Ljungberg e Edwards, 2003, p.523). Considera-se que na escolha de um material se deve contemplar tendências, moda e as preferências dos consumidores (Ljungberg e Edwards, 2003, p.526).

Ljungberg e Edwards identificam alguns materiais tipicamente utilizados em produtos de diferentes segmentos de mercado: em produtos de prestígio utiliza-se essencialmente metais raros ou dispendiosos, materiais no seu estado puro e materiais naturais como a madeira, pedra, algodão, seda e lã, sendo os mais baratos, algodão e madeira, cuidadosamente seleccionados ou enobrecidos. Neste grupo evita-se a utilização de materiais em imitação; os plásticos são evitados, e se utilizados, é essencialmente sob a forma de compósitos avançados (Ljungberg e Edwards, 2003, p.526).

Em produtos baratos utilizam-se frequentemente diversos tipos de plásticos, bem como materiais em imitação, nomeadamente laminados; são também utilizados materiais naturais, mas na sua forma menos dispendiosa, e também se utilizam os metais mais baratos. De um modo geral, neste grupo, existe apenas um mínimo de refinamento, selecção e enobrecimento dos materiais. Num segmento intermédio procuram-se materiais mais próximos do grupo de prestígio, mas com um preço e refinamento moderados (Ljungberg e Edwards, 2003, p.526).

Ljungberg e Edwards salientam que a utilização de materiais não convencionais nos produtos em questão pode produzir resultados interessantes: um telemóvel de madeira, um rato de computador de metal, uma calculadora de pedra; um exemplo popular da década de noventa é o “Rock watch” de Tissot, em que a caixa do mostrador do relógio era de pedra (Ljungberg e Edwards, 2003, p.528). E, considera-se que a utilização de materiais familiares de modo não familiar é também um passo criativo (Ashby e Johnson, 2002, p.41).

A este respeito, identificam-se algumas aplicações pouco convencionais da madeira; monitores, ratos e teclados de computador, fabricados e comercializados pela SWEDX:



Figura 29 – Monitor e teclado em madeira, SWEDX, [www.swedx.se](http://www.swedx.se)

E, acessórios de moda da W-LINE, *Wood for Fashion* da Paolo Da Ponte:



Figura 30 – Acessórios de moda, W-LINE, Paolo Da Ponte, [www.w-line.biz](http://www.w-line.biz)

Essencialmente, identificam-se duas qualidades estéticas da madeira que a distingue de outros materiais: o calor que transmite, e o veio característico. No âmbito dos valores e significados transportados por este material, conclui-se que existem associações à natureza, tradição e artesanato.



## 7 Conclusão

A madeira foi um material amplamente substituído no passado. No entanto, durante o século XX, surgiu um novo requisito no âmbito da utilização dos materiais: o da sustentabilidade. Como a madeira é um material renovável, emergiram as seguintes questões:

*Que papel poderá a madeira desempenhar no futuro?*

*Poder-se-á antever um retorno a uma mais ampla utilização da madeira?*

Portanto, como finalidade deste trabalho, propôs-se a investigação do potencial de utilização da madeira, em substituição de outros materiais. Para o efeito estabeleceram-se as seguintes questões:

*Porque que é que a madeira foi substituída? Que factores motivaram a sua substituição?*

*Que factores influenciam a inovação, substituição, competitividade e difusão dos materiais? Que barreiras e incentivos se identificam?*

*Como é que os materiais contribuem para os problemas ambientais? Como consumir os recursos materiais de forma sustentável?*

*A madeira é uma alternativa sustentável? A madeira é a melhor alternativa ambiental?*

*A madeira é percebida como a melhor alternativa ambiental?*

*Como se caracteriza a madeira actualmente? Qual o seu potencial técnico de aplicação?*

*Que inovações se identificam, e que factores as motivaram?*

*Que qualidades estéticas se identificam na madeira?*

*Que valores e significados são transportados por este material?*

Acerca da substituição da madeira, concluiu-se que a escassez foi o principal factor a motivar a sua substituição, através do consequente aumento do custo da matéria-prima, e redução da dimensão e qualidade das peças de madeira disponíveis. Identificou-se, que a sua susceptibilidade ao fogo e deterioração, terão também contribuído para a sua substituição; e, que a madeira transportava associações que não se enquadravam ideologicamente na 1ª metade do século XX.

No âmbito da inovação e substituição de materiais, concluiu-se que existem diversos factores influentes, ao nível dos materiais, das aplicações a que se destinam, e do contexto em que se inserem. Identificaram-se alguns factores que constituem barreiras à inovação: tempos e custos de

desenvolvimento elevados, regulamentação, e questões sócio-culturais. Apurou-se ainda, que as questões ambientais constituem uma oportunidade para inovar, e um incentivo à substituição de materiais.

A respeito das questões ambientais, concluiu-se que os materiais contribuem de modo substancial para estes problemas, e que a utilização de recursos renováveis é um dos requisitos da sustentabilidade. Demonstrou-se, que a utilização de madeira em substituição de outros materiais, é um contributo para um desenvolvimento sustentado; no entanto, identificaram-se algumas reservas em considerá-la a melhor alternativa ambiental, e apurou-se que a madeira é percebida como um material ecológico.

Acerca dos materiais e tecnologias da madeira, concluiu-se que existem actualmente diversas soluções de utilização deste material, e que estão disponíveis tecnologias que permitem uma utilização eficiente desta matéria-prima. Salienta-se, que as inovações apresentadas desafiam a visão da madeira como um material tradicional.

No âmbito da caracterização estética da madeira, concluiu-se que o calor transmitido e a textura do veio são propriedades distintivas; e, que a natureza, tradição e artesanato, são alguns dos significados associados a este material.

Conclui-se, portanto, que existe potencial em utilizar a madeira em substituição de outros materiais: no âmbito da sustentabilidade, a madeira é uma alternativa importante; tecnologicamente, permite uma multiplicidade de aplicações; e, quanto às dimensões estéticas e culturais, transporta qualidades apreciadas. Considera-se pertinente o retorno a uma mais ampla utilização deste material, e que o design e inovação podem contribuir para que a madeira desempenhe um papel importante, na construção de um futuro sustentável.

## Bibliografia

- ASHBY, Mike, JOHNSON, Kara (2002), *Materials and Design. The art and science of materials selection in product design*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- BARTHES, Roland [1957], *Mitologias*, Edições 70, Lisboa, 1997.
- BEUKERS, Adriaan, HINTE, Ed Van (1999), *Lightness. The inevitable renaissance of minimum energy structures*, 010 publishers, Rotterdam.
- BINDER, Claudia R., HOFER, Christoph, WIEK, Arnim, SCHOLZ, Roland W. (2004), Transition Towards Improved Regional Wood Flows by Integrating Material Flux Analysis and Agent Analysis: the Case of Appenzell Ausserrhoden, Switzerland, *Ecological Economics*, 49, pp.1-17.
- BOENKE, N. (2005), Organic Resources at the Iron Age Dürrnberg salt-mine (Hallein, Austria) – long-distance trade or local sources?, *Archaeometry*, Vol.47, No.2, pp.471-483.
- BÖRJESSON, Pal, GUSTAVSSON, Leif (2000), Greenhouse Gas Balances in Building Construction: Wood versus Concrete from Life-Cycle and Forest Land-Use Perspectives, *Energy Policy*, 28, pp.575-588.
- BOVEA, María D., VIDAL, Rosario (2004), Materials Selection for Sustainable Product Design: A Case Study of Wood Based Furniture Eco-Design, *Materials and Design*, 25, pp.111-116.
- BRØNDSTED, Povl, LILHOLT, Hans, LYSTRUP, Aage (2005), Composite Materials for Wind Power Turbine Blades, *Annual Review of Materials Research*, 35, pp.505-538.
- BRYANT, D., NIELSEN, D., TANGLEY, L. (1997), *The Last Frontier Forests: Ecosystems and Economies on the Edge*. World Resources Institute, Washington DC.
- BUCHANAN, Andrew H., LEVINE, S. Bry (1999), Wood-Based Building Materials and Atmospheric Carbon Emissions, *Environmental Science & Policy*, 2, pp.427-437.
- BURGER, Norbert, MÜLLER, Alan, NATTERER, Johannes (2000), The "EXPO-roof" in Hanover – A new dimension for ripped shells in timber, in *World Conference on Timber Engineering*, Whistler Resort, British Columbia, Canada, July 31 – August 3, 2000.
- BURKE, J. E. (1990), Materials and Innovations, in MOAVENZADEH, Fred (ed.), *Concise Encyclopedia of Building & Construction Materials*, Pergamon Press, 1990, pp.381-385.
- BURROWS, John, SANNES, Berit (1999), A summary of "The Competitive Climate For Wood Products and Paper Packaging: The Factors Causing Substitution with Emphasis on Environmental Promotions". Based on a study performed by the Substitution Project Subgroup of the Joint FAO/ECE Team of Public Relations Specialists in the Forest and Forest Industries Sector, UNECE/FAO, ECE/TIM/DP/16. United Nations, New York and Geneva.
- CAMÕES, Luís de (XVI), *Os Lusíadas de Luís de Camões*, Instituto Camões, 4ª edição, 2000, consultado online em Março de 2006, <http://www.instituto-camoes.pt/cvc/bvc/lusiadas/>.
- CLEVELAND, Cutler J., RUTH, Matthias (1999), Indicators of Dematerialization and the Materials Intensity of Use. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 2, No. 3, pp.15-50.

- COOPER, Tim (2005), Slower Consumption. Reflections on Product Life Spans and the "Throwaway Society", *Journal of Industrial Ecology*, Volume 9, No. 1-2, pp.51-67.
- DANIEL, Stavos E., TSOULFAS, Giannis T., PAPPIS, Costas P., RACHANIOTIS, Nikos P. (2004), Aggregating and evaluating the results of different Environmental Impact Assessment methods, *Ecological Indicators*, 4, pp.125-138.
- DATSCHEFSKI, Edwin (2001), *The Total Beauty of Sustainable Products*, Rotovision, Switzerland.
- DELAPLACE, Marie, KABOUYA, Hakim (2001), Some considerations about interactions between regulation and technological innovation: the case of a sustainable technology, biodegradable materials in Germany. *European Journal of Innovation Management*, Vol.4, No.4, pp.179-185.
- DESBORDES, Michel (2002), Empirical Analysis of the Innovation Phenomena in the Sports Equipment Industry, *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol.14, No.4, pp.481-498.
- EC/DG Enterprise (2002), Perception of the Wood-based Industries. Qualitative Study of the Image of Wood-based Industries amongst the Public in the Member States of the European Union. Final Report, Luxembourg.
- EDWARDS, K. L. (2004a), Strategic substitution of new materials for old: Applications in automotive product development, *Materials and Design*, 25, pp.529-533.
- EDWARDS, K. L. (2004b), Exploiting new materials and processes for higher productivity: use of advanced composite technologies, *Materials and Design*, 25, pp.565-571.
- ERMOLAEVA, Natalia S., KAVELINE, Kirill G., SPOORMAKER, Jan L. (2002), Materials selection combined with optimal structural design: concept and some results, *Materials and Design*, 23, pp.459-470.
- FAO (2006), *Global Forest Resources Assessment 2005. 15 Key Findings*.
- FARRELL, E. P., FÜHRER, E., RYAN, D., ANDERSSON, F., HÜTTL, R., PIUSSI, P. (2000), European Forest Ecosystems: Building the Future on the Legacy of the Past. *Forest Ecology and Management*, 132, pp.5-20.
- FIELL, Charlotte e Peter (1997), *1000 chairs*, Taschen.
- FISHER, Tom H. (2004), What We Touch, Touches Us: Materials, Affects, and Affordances, *Design Issues*, Vol.20, No.4, pp.20-31.
- FORTY, Adrian [1986], *Objects of Desire. Design and Society since 1750*, Thames & Hudson, Great Britain, 2002.
- FOSSEN, M., ORMEL, I., VAN VILSTEREN, G. E. T., JONGSMA, T. J. (2000), Lignocellulosic Fibre Reinforced Caseinate Plastics, *Applied Composite Materials*, 7, pp.433-437.
- FREAS, A. D. (1989), Building with Wood, in SCHNIEWIND, Arno P. (ed.), *Concise Encyclopedia of Wood & Wood-based Materials*, Pergamon Press, 1989, pp.31-37.
- GARDNER, Gary, SAMPAT, Payal (1998), Mind Over Matter: Recasting the Role of Materials in Our Lives. *Worldwatch Paper 144*, Worldwatch Institute, Washington DC.
- GFELLER, B., PIZZI, A., ZANETTI, M., PROPERZI, M., PICHELIN, F., LEHMANN, M., DELMOTTE, L. (2004), Solid wood joints by in situ welding of structural wood constituents, *Holzforschung*, Vol.58, pp.45-52.

- GIELEN, Dolf (1995), Wood for Energy or Materials Applications – Integrated Energy and Materials System Optimisation for CO<sub>2</sub> Reduction, in FRÜHWALD, Arno, SOLBERG, Birger (ed.), *Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry*. EFI Proceedings No. 8, 1995, Hamburg, Germany, pp.153-172.
- GIELEN, Dolf (1998), The Impact of GHG Emission Reduction on the Western European Materials System. Preliminary analysis for the *MATTER workshop Factor 2 / Factor 10*, Utrecht, 2 April 1998.
- GIELEN, Dolf, KRAM, Tom (1998), Western European Integrated Energy and Materials Scenarios for Sustainable Development. Paper prepared for the conference *Beyond Sustainability*, 19-20 November, 1998, Amsterdam.
- GOVERSE, Tessa, HEKKERT, Marko P., GROENEWEGEN, Peter, WORRELL, Ernest, SMITS, Ruud E. H. M. (2001), Wood Innovation in the Residential Construction Sector; Opportunities and Constraints, *Resources, Conservation and Recycling*, 34, pp.53-74.
- GROSS, K. A., EZERIETIS, E. (2003), Juniper wood as a possible implant material, *Journal of Biomedical Materials Research*, Vol.64A, Issue 4, pp.672-683.
- HULT, Jan (1992), The Itera Plastic Bicycle. *Symposium on 'Failed Innovations', Social Studies of Science*, SAGE, Vol.22, pp.373-385.
- HUMMEL, Rolf E. (1998), *Understanding Materials Science: History, Properties, Applications*, Springer-Verlag, New York.
- ISSA, Camille A., KMEID, Ziad (2005), Advanced wood engineering: glulam beams, *Construction and Building Materials*, 19, pp.99-106.
- JANSON, H.W. [1986], *História da Arte*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1992.
- JANSZEN, Felix H. A., VLOEMANS, Marc P. F. (1997), Innovation and the materials revolution, *Technovation*, Vol.17, No.10, pp.549-556.
- JÄRVELÄ, Pentti K., TERVALA, Outi, JÄRVELÄ, Pirkko A. (1999), Coating Plywood with a Thermoplastic, *Adhesion & Adhesives*, vol.19, pp.295 – 301.
- JÄRVINEN, Erno, TOIVONEN, Ritva, ENROTH, Raija-Riitta (2001), Competence and Image of Wood on the German Building Material Markets, *Pellervo Economic Research Institute Working Papers N°50*, Helsinki, December 2001.
- KURIMOTO, Y., TAKEDA, M., KOIZUMI, A., YAMAUCHI, S. Doi, TAMURA, Y. (2000), Mechanical properties of polyurethane films prepared from liquefied wood with polymeric MDI, *Bioresource Technology*, 74, pp.151-157.
- LAFLEUR, Marije C. C., FRAANJE, Peter J. (1997), Towards Sustainable Use of the Renewable Resource Wood in the Netherlands – A Systematic Approach, *Resources, Conservation and Recycling*, 20, pp.19-29.
- LENNON, T., BULLOCK, M. J., ENJILY, V. (2000), The fire resistance of medium-rise timber frame buildings, in *World Conference on Timber Engineering*, Whistler Resort, British Columbia, Canada, July 31 – August 3, 2000.

- LJUNGBERG, Lennart Y., EDWARDS, Kevin L. (2003), Design, materials selection and marketing of successful products, *Materials and Design*, 24, pp.519-529.
- MACHADO, J. S., CRUZ, H., NUNES, L. (2003), Mitos e factos relacionados com o desempenho de elementos de madeira em edifícios, Comunicação, LNEC, Maio 2003.
- MAINE, Elicia, PROBERT, David, ASHBY, Mike (2005), Investing in new materials: a tool for technology managers, *Technovation*, Vol.25, pp.15-23.
- MANZINI, Ezio [1986] *A matéria da invenção*, Centro Português de Design, Lisboa, 1993.
- MARKWARDT, L. J.(1989), The Mosquito Bomber, in BULLEIT, W.M. (ed.), *Classic Wood Structures*, Task Committee on Classic Wood Structures, ASCE, Nova York, 1989, pp. 235-241.
- MATOS, Grecia, WAGNER, Lorie (1998), Consumption of Materials in the United States, 1900-1995. *Annual Review of Energy and Environment*, 23, pp.107-122.
- MATTHEWS, Emily (2000), *The Weight of Nations. Material Outflows from Industrial Economies*, WRI – World Resources Institute, Washington DC.
- MCHENRY, E., STACHURSKI, Z. H. (2003), Composite materials based on wood and nylon fibre, *Composites, Part A: applied science and manufacturing*, 34, pp.171-181.
- MCPFE e UNECE/FAO (2003) State of Europe's Forests 2003, Vienna.
- MEADOWS, Donella, RANDERS, Jorgen, MEADOWS, Dennis (2004), *Limits to Growth: the 30 year update*, Chelsea Green, US.
- MOORE, Mark A. (2000), Scotia Place – 12 story apartment building. A case study of high-rise construction using wood and steel, in *World Conference on Timber Engineering*, Whistler Resort, British Columbia, Canada, July 31 – August 3, 2000.
- MOSLEMI, A. A. (1999), Emerging Technologies in Mineral-Bonded Wood and Fiber Composites, *Advanced Performance Materials*, Volume 6, Issue 2, pp. 161-179.
- MYRHØJ, Hanne Marie (2004), The Planking Clamp from Tårnby: a Medieval Danish Boatbuilding Tool, *The International Journal of Nautical Archaeology*, Vol.33, No.2, pp.320-329.
- NABUURS, G. J., SIKKEMA, R. (2001), International Trade in Wood Products: Its Role in the Land Use Change and Forestry Carbon Cycle, *Climatic Change*, 49, pp.377-395.
- NABUURS, Gert-Jan, SCHELHAAS, Mart-Jan, MOHREN, Godefridus (Frits) M. J., FIELD, Christopher B. (2003), Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999, *Global Change Biology*, 9, pp.152-160.
- NAKAGAITO, A. N., YANO, H. (2005), Novel high-strength biocomposites based on microfibrillated cellulose having nano-order-unit web-like network structure. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, Volume 80, Issue 1, pp. 155-159.
- OBATA, Y., TAKEUCHI, K., FURUTA, Y., KANAYAMA, K. (2005), Research on Better Use of Wood for Sustainable Development: Quantitative Evaluation of Good Tactile Warmth of Wood. *Energy*, Volume 30, Issue 8, pp.1317-1328.
- PAPANEK, Victor (1995), *Arquitectura e Design. Ecologia e ética*, Edições 70, Lisboa.
- Pavilhão Atlântico, Site oficial, [www.pavilhaoatlantico.pt](http://www.pavilhaoatlantico.pt), consultado em Abril de 2006.

- PERLIN, John [1989], *A forest Journey. The Role of Wood in the Development of Civilization*, Harvard University Press, US, 1993.
- PETERSEN, Ann Kristin, SOLBERG, Birger (2005), Environmental and Economic Impacts of Substitution between Wood Products and Alternative Materials: A Review of Micro-Level Analyses from Norway and Sweden, *Forest Policy and Economics*, 7, pp.249-259.
- PINGOUD, K., PERÄLÄ, A.-L., PUSSINEN, A. (2001), Carbon Dynamics in Wood Products, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 6, pp.91-111.
- PINGOUD, K., LEHTILÄ, A. (2002), Fossil Carbon Emissions Associated with Carbon Flows of Wood Products, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7, pp.63-83.
- POKU-MARBOAH, Michael, JUSLIN, Heikki, HANSEN, Eric, FORSYTH, Keith (2005), Forest Certification Update for the UNECE Region, 2003. *Geneva Timber and Forest Discussion Paper 39*, ECE/TIM/DP/39, UNECE/FAO, Geneva.
- RAIZMAN, David (2003), *History of Modern Design*, Laurence King, UK.
- RAMESTSTEINER, Ewald, KRAXNER, Florian (2003), Europeans and Their Forests, What Do Europeans Think About Forests and Sustainable Forest Management? MCPFE e FAO /UNECE, Vienna.
- RICHTER, Klaus (1995) Life Cycle Analysis of Wood Products, in FRÜHWALD, Arno, SOLBERG, Birger (ed.), *Life-Cycle Analysis – A Challenge for Forestry and Forest Industry*. EFI Proceedings No. 8, 1995, Hamburg, Germany, pp.69-77.
- RODRÍGUEZ, Rogelio, ESTEVEZ, Miriam, VARGAS, Susana (2003), Hybrid ceramic-polymer material for wood coating with wearing resistance, *Materials Research Innovations*, 7, pp.80-84.
- ROGNOLI, Valentina (2003), The Aesthetical and Sensorial Characterization of Design Materials, in *1<sup>st</sup> International Meeting of Science and Technology of Design, Senses and Sensibility in Technology – Linking Tradition to Innovation Through Design*, IADE, Lisboa, pp.132-137.
- ROWELL, Roger M. (1999), Specialty Treatments, in FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999), *Wood Handbook. Wood as an Engineering Material*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Cap.19, 14p.
- SCHARAI-RAD, Mohammad, WELLING, Johannes (2002), Environmental and energy balances of wood products and substitutes, FAO, Rome.
- SCHLABACH, T. D. (1990), Substitution: Technology, in MOAVENZADEH, Fred (ed.), *Concise Encyclopedia of Building & Construction Materials*, Pergamon Press, 1990, pp.594-597.
- SINGH, M., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., ARELLANO-LÓPEZ, A. R. de (2003), Environmentally Conscious Ceramics (ecoceramics) from Natural Wood Precursors, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, vol. 7, pp. 247–254.
- SINN, Robert C. (2000), An innovative Structural Design in Glued Laminated Timber for 115m Span Lisbon, Portugal Multi-Use Arena, in *World Conference on Timber Engineering*, Whistler Resort, British Columbia, Canada, July 31 – August 3, 2000.

- SMITH, William F. (1998), *Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*, McGraw-Hill, Lisboa.
- STOJIC, Dragoslav, CVETKOVIC, Radovan (2001), Analysis of a Composite Timber-Concrete Structures According to the Limit States. Design and Innovative Methods in Coupling of a Timber and Concrete, *Facta Universitatis, Architecture and Civil Engineering*, Vol.2, No.3, pp.169-184.
- SUDDARTH, S. K. (1989), Design with Wood, in SCHNIEWIND, Arno P. (ed.), *Concise Encyclopedia of Wood & Wood-based Materials*, Pergamon Press, 1989, pp.82-85.
- SUN, M., RYDH, C. J., KAEBERNICK, H. (2003), Material Grouping for Simplified Product Life Cycle Assessment. *The Journal of Sustainable Product Design*, 3, pp.45-58.
- SWEDX, [www.swedx.se](http://www.swedx.se), consultado em Abril de 2006.
- TIDD, Joe, BESSANT, John, PAVITT, Keith (2001), *Gestão da Inovação. Integração das Mudanças Tecnológicas, de Mercado e Organizacionais*, Monitor, Lisboa, 2003.
- TILTON, J. E. (1990), Substitution: Economics, in MOAVENZADEH, Fred (ed.), *Concise Encyclopedia of Building & Construction Materials*, Pergamon Press, 1990, pp.591-594.
- UTTERBACK, James M. (1994), *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts.
- VAN KOOTEN, G. Cornelis, EAGLE, Alison J. (2005), Forest Carbon Sinks: A Temporary and Costly Alternative To Reducing Emissions For Climate Change Mitigation, in KANT e BERRY (ed.), *Sustainability, Institutions, and Natural Resources: Institutions for Sustainable Forest Management*, Springer, Netherlands, 2005, pp.233-255.
- VINCENT, Julian F. V. (2002), Survival of the cheapest, *Materials Today*, December 2002.
- WACKERNAGEL, M., SCHULZ, N. B., DEUMLING, D., LINARES, A. C., JENKINS, M., KAPOV, V., MONFREDA, C., LOH, J., MYERS, N., NORGAAARD, R., RANDERS, J. (2002), Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy. *PNAS – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 99, No. 14.
- WEJNERT, Barbara (2002), Integrating Models of Diffusion of Innovations: A Conceptual Framework, *Annual Review of Sociology*, Vol.28, pp.297-326.
- WESTBROOK, J. H. (1990a), Materials: History Before 1800, in MOAVENZADEH, Fred (ed.), *Concise Encyclopedia of Building & Construction Materials*, Pergamon Press, 1990, pp.412-423.
- WESTBROOK, J. H. (1990b), Materials: History Since 1800, in MOAVENZADEH, Fred (ed.), *Concise Encyclopedia of Building & Construction Materials*, Pergamon Press, 1990, pp.423-434.
- WIBBENS, R. P. (1989), Glued Laminated Timber, in SCHNIEWIND, Arno P. (ed.), *Concise Encyclopedia of Wood & Wood-based Materials*, Pergamon Press, 1989, pp.127-129.
- WHITELEY, Nigel [1993], *Design For Society*, Reaktion Books, London, 1998.
- WIELD, David, ROY, Robin (1995), R&D and corporate strategies in UK materials-innovating companies, *Technovation*, Vol.15, No.4, pp.195-210.
- W-LINE, Paolo Da Ponte, [www.w-line.biz](http://www.w-line.biz), consultado em Abril de 2006.



- YANO, Hiroyuki (2001), Potential strength for resin-impregnated compressed wood, *Journal of Materials Science Letters*, 20, pp.1127-1129.
- YOUNGQUIST, John A. (1999), Wood-based Composites and Panel Products, in FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999), *Wood Handbook. Wood as an Engineering Material*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Cap.10, 31p.
- YOUNGQUIST, John A. (2000), A Look At The World's Timber Resources and Processing Facilities. Sub-Plenary Papers, Vol.1, *XXI IUFRO World Congress, International Union of Forestry Research Organization*, 7-12 August 2000, Kuala Lumpur, Malaysia.
- YOUNGS, R. L. (1989), History of Timber Use, in SCHNIEWIND, Arno P. (ed.), *Concise Encyclopedia of Wood & Wood-based Materials*, Pergamon Press, 1989, pp.138-143.
- ZICHERMAN, J. B. (1989), Fire and Wood, in SCHNIEWIND, Arno P. (ed.), *Concise Encyclopedia of Wood & Wood-based Materials*, Pergamon Press, 1989, pp.107-112.